



TUGAS AKHIR (RC-14 1501)

**PERENCANAAN DETAIL DERMAGA SELATAN CURAH
CAIR UNTUK KAPAL 12.000 DWT DI PERAIRAN UTARA
KABUPATEN TUBAN, JAWA TIMUR**

SATYA WIRA WICAKSANA
NRP 3111 100 131

Dosen Pembimbing
Ir. Dyah Iriani W., M.Sc
Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT (RC-14 1501)

**DESIGN OF SOUTH LIQUID BULK PORT FOR A
12.000 DWT SHIP IN NOTRH REGION OF
TUBAN, JAWA TIMUR**

SATYA WIRA WICAKSANA
NRP 3111 100 131

Supervisor
Ir. Dyah Iriani W., M.Sc
Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi

DEPARTEMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

**PERENCANAAN DETAIL DERMAGA SELATAN CURAH
CAIR UNTUK KAPAL 12.000 DWT DI PERAIRAN
UTARA KABUPATEN TUBAN, JAWA TIMUR**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Transportasi (Pelabuhan)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

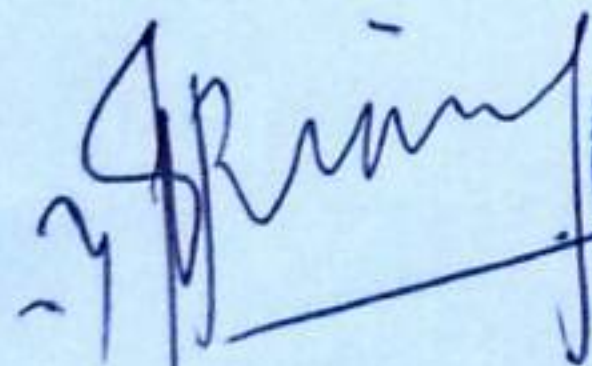
SATYA WIRA WICAKSANA

Nrp. 3111 100 131

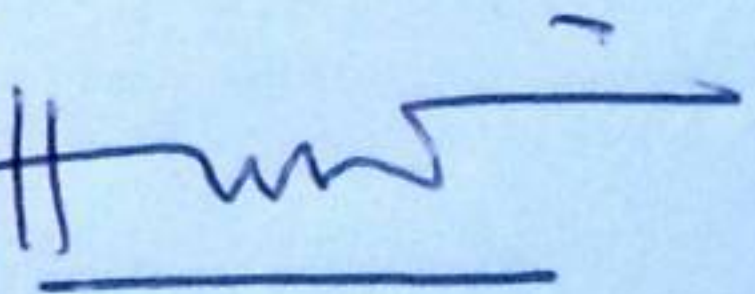
Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



(Ir. Dyah Iriani W., M.Sc)
NIP. 196112191986032002



(Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi)
NIP. 195503291980031002

SURABAYA, JULI 2016

PERENCANAAN DETAIL DERMAGA SELATAN CURAH CAIR UNTUK KAPAL 12.000 DWT DI PERAIRAN UTARA KABUPATEN TUBAN, JAWA TIMUR

Nama Mahasiswa : Satya Wira Wicaksana
NRP : 3111 100 131
Jurusan : Teknik Sipil FTSP – ITS
Dosen Pembimbing : Ir Dyah Iriani W., M.sc
Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi

Abstrak

Saat ini TPPI Tuban sedang sedang merencanakan tiga buah jetty baru, yaitu dua jetty untuk wilayah selatan dan satu jetty untuk wilayah utara. Direncanakannya jetty baru karena saat ini dermaga (jetty) existing sudah tidak cukup melayani arus bongkar muat minyak. Selain itu kilang Tuban perlu di tambah seiring dengan meningkatnya arus bongkar muat, penambahan kilang minyak bertujuan agar Indonesia tidak lagi mengandalkan kilang minyak dari luar negeri, dan bisa mengolah minyak mentah dari dalam negeri.

Dengan melihat permasalahan yang ada, akibat meningkatnya arus bongkar muat, maka dibutuhkan suatu design struktur dermaga yang memenuhi standart dan dapat dilaksanakan di lapangan. Dalam tugas akhir ini jetty yang direncanakan yaitu jetty selatan yang terletak disebelah kanan. Untuk jetty selatan menyalurkan hasil Minyak MDO (Marine Diesel Oil) dan Minyak IFO (Intermediate Fuel Oil).

Tujuan dari Tugas akhir ini adalah menghasilkan perencanaan struktur dermaga yang sesuai dengan standart perencanaan dermaga dan memenuhi syarat keamanan struktur.

Hasil analisis perhitungan didapatkan kebutuhan jetty dengan ketentuan Loading Platform sebesar 24 x 18 m, Mooring Dolphin 2,8 x 2,8 m, Breasting Dolphin 4,8 x 4,8 m dan Catwalk

*dengan panjang 15 dan 7,5 meter. Rencana Anggaran biaya yang diperlukan untuk pembangunan jetty ini adalah **Rp. 30.659.519.200***

Kata Kunci : Dermaga Curah Cair, Perairan Kabupaten Tuban, Evaluasi Layout Perairan dan Daratan, Struktur, WBS, Rencana Anggaran Biaya, Kurva S.

DESIGN OF SOUTH LIQUID BULK PORT FOR A 12.000 DWT SHIP IN NOTRH REGION OF TUBAN, JAWA TIMUR

Name : Satya Wira Wicaksana
NRP : 3111 100 131
Department : Teknik Sipil FTSP – ITS
Supervisor : Ir Dyah Iriani W., M.sc
Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi

Abstract

Nowadays TPPI Tuban is planning to build (3) three quays; 2 (two) in the South region and 1 (one) in the North region. The project is conducted due to the inability of the existing quay to carry out loading and unloading process of oil. Besides, Tuban's refinery installation should be added in line with the intensity of oil loading and unloading process. Also, the refinery installation addition it means that Indonesia can do refinery process itself minimizing dependancy on forgein countries, and can process the raw oil domestically.

Seeing the existing problem due to the increasing activities of oil loading and unloading process, it is needed to have quay structure design which can fulfil standart requitment and feasible to be constructed. In this final assignment, the will-be constructed quay is the one in the Southern right of the region. The Southern-position quay is meant to distribute the products of Marine Diesel Oil (MDO) and Intermediate Fuel Oil (IFO) .

The objective of this final assignment is produce quay structure planning which can fulfill standart quay planning requirement resulting structurally safe quay.

From calculation analysis is obtained the following specified capacity of quay: Loading platform with the size of 24 x 18 m; Mooring dolphin with the size of 2,8 x 2,8 m; Breating dolphin with the size of 4,8 x 4,8 m; and Catwalk as long as 7,5

and 15 m. The calculated budget for constructing the quay is IDR 30,659,159,200.

Keywird : Liquid bulk port, Sea Tuban regency, Evaluation of sea and land layout, Structure, WBS, Contruction cost, S Curve.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT. Atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“PERENCANAAN DETAIL DERMAGA SELATAN CURAH CAIR UNTUK KAPAL 12.000 DWT DI PERAIRAN UTARA KABUPATEN TUBAN, JAWA TIMUR”** pada waktu yang tepat.

Tugas Akhir ini disusun penulis dalam rangka memenuhi salah satu syarat kelulusan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis mendapat banyak bimbingan, dukungan, dan pengarahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT,. Atas segala rahmat dan karunia-Nya.
2. Ibu Ir. Dyah Iriani, M.Sc dan Bapak Prof. Ir. Dr. Herman Wahyudi selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan banyak memberikan masukan kepada penulis.
3. Ibu Endah Wahyuni, ST, MSc, PhD selaku dosen wali penulis.
4. Ayah Bambang Parmadi dan Ibu Yulis Setiowati, yang senantiasa tidak henti-hentinya memberikan dukungan, do’a, dan kasih sayang kepada penulis.
5. Keluarga Stadion (Gembol, Dhika, Bulus, Ayip, Rizky, Nabil, Bakwan, Kemal, Mecun, Mirza, Nawwap, Pram, Fajri, Coro, Kajut, Jati, Donny)
6. Keluarga Perkebunan (Teja, Cece Emil, Natali, Bimo, Indra, Endru, Alfin Sampang, Mbah Ade)

7. Keluarga Basecamp (Agung, Firo, Kalong, Dewi, Dwiki, Daviq, Dina, Dapit, Fajar, Irin, Mika, Erta, Aldo, Dito, Revita, Belek, Lay)
8. Teman – teman seperjuangan Tugas Akhir Pelabuhan (Daniel, Taufik, Fahmi, Fiqul, Uffan, Alika, Dewi, Glenni)
9. Keluarga S-54 Teknik Sipil ITS 2011 lainnya yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, terima kasih atas dukungan yang telah diberikan.
10. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Sipil FTSP-ITS yang telah memberikan motivasi dan pembelajaran.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini banyak terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan penulis agar di masa yang akan datang menjadi lebih baik.

Penulis berharap Tugas Akhir ini nantinya dapat bermanfaat bagi semua pihak. Dan penulis juga memohon maaf atas segala kekurangan yang ada dalam Tugas Akhir ini.

Surabaya, Juni 2016

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR GRAFIK.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Lingkup Bahasan	2
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Manfaat.....	4
1.7 Lokasi Perencanaan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Umum.....	7
2.2 Data dan Analisa.....	7
2.2.1 Data Bathymetri.....	7
2.2.2 Data Pasang Surut.....	7
2.2.3 Data Arus.....	9
2.2.4 Data Angin.....	9
2.2.5 Data Gelombang.....	9
2.2.6 Data Tanah.....	10
2.2.7 Data Kapal.....	11
2.3 Perencanaan Layout Perairan dan Dermaga.....	11
2.3.1 Perencanaan Layout Perairan.....	11
2.3.2 Perencanaan Layout Dermaga.....	14
2.4 Perencanaan Fender dan Bollard.....	16
2.4.1 Fender.....	16
2.4.2 Bollard.....	18

2.5 Kriteria Pembebanan	20
2.5.1 Beban Vertikal.....	20
2.5.2 Beban Horizontal.....	21
2.5.3 Kombinasi Pembebanan.....	24
2.6 Perhitungan Struktur Dermaga.....	25
2.6.1 Perhitungan Struktur Atas.....	26
2.6.2 Perhitungan Struktur Bawah.....	31
 BAB III PENGUMPULAN DAN ANALISA DATA.....	37
3.1 Umum.....	37
3.2 Data Bathymetri.....	37
3.3 Data Pasang Surut.....	38
3.4 Data Arus.....	39
3.5 Data Angin.....	40
3.6 Data Tanah	42
 BAB IV KRITERIA DESAIN	45
4.1 Peraturan yang Digunakan.....	45
4.2 Kriteria Kapal Rencana.....	46
4.3 Data Alat.....	47
4.4 Kualitas Bahan dan Material.....	52
4.4.1 Kualitas Bahan Beton.....	52
4.4.2 Kualitas Bahan Baja Tulangan.....	53
4.4.3 Kualitas Bahan Tiang Pancang	53
4.4.4 Desain Dimensi Struktur	54
4.4.5 Tinggi Struktur	55
4.5 Kriteria Pembebanan	56
4.5.1 Beban Gempa.....	56
4.5.2 Pembebanan Pada Trestle.....	61
4.5.3 Pembebanan Pada Mooring Dolphin	61
4.5.4 Pembebanan Pada Loading Platform	62
4.5.5 Pembebanan Pada Breasting Dolphin	63
4.5.6 Pembebanan Pada Catwalk	63
4.6 Perencanaan Fender	63
4.6.1 Beban Tumbukan Dari Kapal.....	64

4.6.2 Pemilihan Tipe Fender.....	69
4.6.3 Aksesoris Fender	70
4.6.4 Perencanaan Panel Fender	72
4.7 Perencanaan Bollard	74
4.7.1 Gaya Akibat Tarikan Kapal	74
4.7.2 Gaya Akibat Tarikan Arus	74
4.7.3 Gaya Akibat Tarikan Angin.....	75
4.7.4 Gaya Tarik Bollard.....	76
4.7.5 Pemilihan Tipe Bollard	77
 BAB V PERENCANAAN LAYOUT.....	79
5.1 Umum.....	79
5.2 Perencanaan Layout Perairan dan Dermaga	79
5.2.1 Perencanaan Layout Perairan	79
5.2.2 Perencanaan Layout Dermaga.....	84
 BAB VI PERHITUNGAN STRUKTUR DERMAGA.....	91
6.1 Perhitungan Catwalk 1	91
6.1.1 Umum	91
6.1.2 Perencanaan Balok Utama.....	91
6.1.3 Perencanaan Kerangka Balok.....	98
6.1.4 Perhitungan Pengelasan.....	103
6.2 Perencanaan Catwalk 2	104
6.2.1 Umum	104
6.2.2 Perencanaan Balok Utama.....	105
6.2.3 Perencanaan Kerangka Balok.....	111
6.2.4 Perhitungan Pengelasan.....	116
6.3 Perencanaan Struktur Mooring Dolphin.....	118
6.3.1 Umum.....	118
6.3.2 Perencanaan Struktur	118
6.3.3 Perhitungan Pondasi.....	122
6.3.4 Penulangan Poer	129
6.4 Perhitungan Struktur Breasting Dolphin	138
6.4.1 Umum.....	138
6.4.2 Perencanaan Struktur	138

6.4.3 Perhitungan Pondasi	142
6.4.4 Penulangan Plank Fender	158
6.5 Perhitungan Loading Platform	163
6.5.1 Umum	163
6.5.2 Pembebanan Struktur Loading Platform	163
6.5.3 Kombinasi Pembebanan	164
6.5.4 Permodelan Struktur SAP Loading Platform.....	165
6.5.5 Perhitungan Pondasi	166
6.5.6 Perencanaan Pelat	174
6.5.7 Perhitungan Balok.....	187
6.5.8 Perencanaan Poer	205
6.5.8.1 Perencanaan Poer	206
6.6 Perhitungan Trestle	211
6.6.1 Umum	211
6.6.2 Pembebanan Struktur Trestle	211
6.6.3 Kombinasi Pembebanan	212
6.6.4 Permodelan Struktur SAP	212
6.6.5 Perhitungan Pondasi	214
6.6.6 Perencanaan Poer	222
6.6.6.1 Penulangan Poer	223
6.6.7 Perencanaan Pelat	228
6.6.7 Perhitungan Balok	236
 BAB VII ANALISA WBS DAN RENCANA ANGGARAN BIAYA.....	 253
7.1 Work Breakdown Structure	253
7.2 Penyusunan WBS (<i>work breakdown structure</i>)	253
7.3 Rencana Anggaran Biaya	254
7.4 Harga Material dan Upah	254
7.5 Analisis Harga Satuan	256
7.6 Analisa Rencana Anggaran Biaya	261
7.7 Kurva Biaya Waktu (<i>Kurva S</i>)	263
 BAB VIII KESIMPULAN.....	 265
DAFTAR PUSTAKA.....	269

DAFTAR GAMBAR

BAB I

Gambar 1.1 Diagram Alur Pengerjaan Tugas Akhir.....	3
Gambar 1.2 Titik Koordinat Peta Tuban.....	5
Gambar 1.3 Peta Kota Tuban.....	5
Gambar 1.4 Lokasi Pengembangan Dermaga TPPI.....	6
Gambar 1.5 Masterplan Pembangunan Dermaga	6

BAB II

Gambar 2.1 Lebar Alur Masuk Kapal.....	12
Gambar 2.2 Ketentuan Perencanaan Jetty.....	16
Gambar 2.3 Ss Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertrget (MCER) kelas situs SB, SNI 1726 2012	22
Gambar 2.4 S1 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertrget (MCER) kelas situs SB, SNI 1726 2012	22
Gambar 2.5 Distribusi beban pelat.....	29
Gambar 2.6 Posisi titik jepit tiang pancang	35

BAB III

Gambar 3.1 Peta Bathymetri Dermaga TPPI Tuban, Jawa Timur	37
Gambar 3.2 Permodelan Kontur Dermaga TPPI Tuban	38
Gambar 3.3 Peta Grafik Pasang Surut	39
Gambar 3.4 Windrose Tahun 2006-2015.....	41
Gambar 3.5 Gambar Staigrafi Tanah BH2	43

BAB IV

Gambar 4.1 Kapal Tanker IFO 12.000 DWT	46
Gambar 4.2 Kapal Tanker MDO 11.000 DWT	47
Gambar 4.3 Spesifikasi Marine Loading Arm	48
Gambar 4.4 Pemasangan Base Plate Jib Crane.....	51
Gambar 4.5 Ss Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertrget (MCER) kelas situs SB, SNI 1726 2012.....	57

Gambar 4.6 S1 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertrget (MCER) kelas situs SB, SNI 1726 2012.....	57
Gambar 4.7 Nilai untuk menentukan Cc.....	67
Gambar 4.8 Nilai untuk menentukan Cs.....	68
Gambar 4.9 Nilai Faktor Keamanan Fender	69
Gambar 4.10 Dimensi Fender SCN	70
Gambar 4.11 NC3 Anchors.....	71
Gambar 4.12 Bolts, Nuts and Washers	71
Gambar 4.13 Pemasangan Frontal Pad	72
Gambar 4.14 Detail Penampang Double Hook Bollard.....	78
Gambar 4.15 Detail Baut Bollard	78

BAB V

Gambar 5.1 Lebar Alur Masuk Kapal.....	80
Gambar 5.2 Proses Arah Masuk Kapal.....	81
Gambar 5.3 Proses Arah Keluar Kapal.....	82
Gambar 5.4 Perencanaan Layout Perairan Dermaga TPPI Dengan Pengerukan	84
Gambar 5.5 Lokasi Dermaga Yang Direncanakan	86
Gambar 5.6 Layout Dermaga TPPI.....	86
Gambar 5.7 Proses Masuk Kendaraan dari Daratan	87

BAB VI

Gambar 6.1 Potongan Struktur Catwalk 1	91
Gambar 6.2 Multiplanar “K” joints pada struktur catwalk 1.92	
Gambar 6.3 Beban Area Pada Catwalk.....	94
Gambar 6.4 Rencana 3D Struktur Catwalk.....	94
Gambar 6.5 Potongan Struktur Catwalk 2	105
Gambar 6.6 Multiplanar “K” joints pada struktur catwalk 2	106
Gambar 6.7 Beban Area Pada Catwalk 2.....	107
Gambar 6.8 Rencana 3D Struktur Catwalk 2.....	108
Gambar 6.9 Layout Mooring Dolphin	119
Gambar 6.10 Beban Bollard Mooring Dolphin	121
Gambar 6.11 Rencana 3D Mooring Dolphin	121

Gambar 6.12 Layout Breasting Dolphin	139
Gambar 6.13 Beban Fender pada Breasting Dolphin.....	141
Gambar 6.14 Rencana 3D Breasting Dolphin.....	141
Gambar 6.15 Rencana 3D Loading Platform.....	165
Gambar 6.16 Beban MLA, Pipa, Catwalk, JC, FM, TG	165
Gambar 6.17 Tipe Pelat Loading Platform	174
Gambar 6.18 Beban Mati Terpusat Akibat Tower	
Gangway	175
Gambar 6.19 Pelat Tipe I.....	176
Gambar 6.20 Tinggi Manfaat Pelat.....	180
Gambar 6.21 Tinggi Manfaat Pelat.....	184
Gambar 6.22 Denah Pembalokan Loading Platform	188
Gambar 6.23 Eksentrisitas Poer Tunggal.....	206
Gambar 6.24 Rencana 3D Struktur Trestle.....	213
Gambar 6.25 Permodelan Trestle Akibat Beban Pipa	213
Gambar 6.26 Eksentrisitas Poer Tunggal	223
Gambar 6.27 Tipe Pelat Trestle	228
Gambar 6.28 Pelat Tipe I.....	230
Gambar 6.29 Tinggi Manfaat Pelat.....	232
Gambar 6.30 Tinggi Manfaat Pelat.....	234
Gambar 6.31 Denah Pembalokan Trestle	236

DAFTAR GRAFIK

BAB III

Grafik 3.1 Grafik Kedalaman vs Ql dan Qs	44
--	----

BAB IV

Grafik 4.1 Grafik Brething Velocity	65
Grafik 4.2 Jari-Jari Girasi Sebagai Fungsi dari Koefisien Blok	66

BAB VI

Grafik 6.1 Grafik Daya Dukung Tanah untuk Mooring Dolphin	124
Grafik 6.2 Grafik Daya Dukung Tanah untuk Breasting Dolphin Tiang Tegak	144
Grafik 6.3 Grafik Daya Dukung Tanah untuk Breasting Dolphin Tiang Miring	146
Grafik 6.4 Grafik Daya Dukung Tanah untuk Loading Platform	169
Grafik 6.5 Grafik Daya Dukung Tanah untuk Trestle	217

DAFTAR TABEL

BAB II

Tabel 2.1 Tinggi gelombang ijin di Pelabuhan	10
Tabel 2.2 Kebutuhan Areal Penjangkaran.....	11
Tabel 2.3 Faktor Koreksi PIANC 2002.....	18
Tabel 2.4 Nilai MBL Untuk Menentukan Gaya Tarikan Kapal	18
Tabel 2.5 Koefisien situs, Fa	23
Tabel 2.6 Koefisien situs, FV	23
Tabel 2.7 Nilai parameter periode pendekatan Ct dan x.....	24
Tabel 2.8 Harga Koefisien ω_p , C3, C4 dan C5.....	28
Tabel 2.9 Base coefficient α Decourt et all (1996).....	33
Tabel 2.10 Shaft coefficient β Decourt et all (1996).....	33

BAB III

Tabel 3.1 Frekuensi Rata-rata Kejadian Angin di Tuban Th 2006-2015	40
Tabel 3.2 Data Kecepatan Angin Maksimum Tahun 2006-2011.....	41

BAB IV

Tabel 4.1 Spesifikasi Kapal Tanker IFO 12.000 DWT.....	46
Tabel 4.2 Spesifikasi Kapal Tanker MDO 11.000 DWT.....	47
Tabel 4.3 Tabel Spesifikasi Pipa Marine Loading Arm.....	48
Tabel 4.4 Spesifikasi Tower Gangway.....	49
Tabel 4.5 Spesifikasi Fire Monitor Tower.....	50
Tabel 4.6 Spesifikasi Jib Crane Slewing.....	51
Tabel 4.7 Koefisien situs, Fa.....	58
Tabel 4.8 Koefisien situs, FV.....	58
Tabel 4.9 Nilai parameter periode pendekatan Ct dan x.....	60
Tabel 4.10 Super Cone Fenders Performance.....	69
Tabel 4.11 Super Cone Fenders Dimensions.....	70
Tabel 4.12 Spesifikasi NC3 Anchors.....	71
Tabel 4.13 Spesifikasi Bolts, Nuts and Washers.....	72

Tabel 4.14 Nilai Untuk Menentukan Tekanan Kontak Izin....	73
Tabel 4.15 Nilai MBL Untuk Menentukan Gaya Tarikan Kapal.....	74
Tabel 4.16 Spesifikasi Bollard.....	77

BAB V

Tabel 5.1 Perencanaan Layout Perairan.....	83
Tabel 5.2 Perbandingan MDO dan IFO	88

BAB VI

Tabel 6.1 Output SAP Balok Utama	95
Tabel 6.2 Output SAP Kerangka Balok	100
Tabel 6.3 Output SAP Balok Utama	108
Tabel 6.4 Output SAP Kerangka Balok	113
Tabel 6.5 Rekap Gaya Dalam Tiang Pancang.....	123
Tabel 6.6 Hasil Analisa SAP2000 Mooring Dolphin.....	130
Tabel 6.7 Rekapitulasi Gaya Dalam Tiang Pancang.....	143
Tabel 6.8 Rekapitulasi Gaya Dalam Poer	152
Tabel 6.9 Rekapitulasi Perhitungan Struktur Loading Platform.....	166
Tabel 6.10 Rekapitulasi Gaya Dalam Tiang Pancang.....	168
Tabel 6.11 Koefisien x	176
Tabel 6.12 Koefisien a_1, a_2, a_3, a_4	178
Tabel 6.13 Rekapitulasi Perhitungan Momen Pada Pelat....	179
Tabel 6.14 Rekapitulasi Momen Pelat Rencana.....	179
Tabel 6.15 Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Balok.....	204
Tabel 6.16 Rekapitulasi Perhitungan Struktur Trestle.....	214
Tabel 6.17 Rekapitulasi Gaya Dalam Tiang Pancang.....	216
Tabel 6.18 Koefisien x	230
Tabel 6.19 Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Balok.....	252

BAB VII

Tabel 7.1 Upah Tenaga Kerja.....	254
Tabel 7.2 Daftar Harga Material dan Peralatan	255
Tabel 7.3 Harga Sewa Alat.....	256
Tabel 7.4 Analisis Harga Satuan	256
Tabel 7.5 Analisa Anggaran Biaya.....	262
Tabel 7.6 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya	263

BAB I

PENDAHULUAN

1. 1 Latar Belakang

Minyak bumi adalah cairan kental, berwarna coklat gelap, atau kehijauan yang mudah terbakar, yang berada di lapisan atas bumi. Minyak bumi diambil dari sumur minyak di pertambangan minyak. Setelah itu, minyak bumi akan diproses di tempat pengilangan minyak dan dipisahkan hasilnya berdasarkan titik didihnya sehingga menghasilkan berbagai macam bahan bakar, mulai dari bensin dan minyak tanah sampai aspal. Minyak bumi digunakan untuk memproduksi berbagai macam barang dan material yang dibutuhkan manusia. Dalam kehidupan sehari-hari, minyak bumi dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energi tak terbarukan bagi berbagai jenis mesin. Minyak bumi sejatinya baru dapat dimanfaatkan bila telah diolah menjadi produk jadi.

Saat ini TPPI Tuban sedang sedang merencanakan tiga buah *jetty* baru, yaitu dua *jetty* untuk wilayah selatan dan satu *jetty* untuk wilayah utara. Direncanakannya *jetty* baru karena saat ini dermaga (*jetty*) existing sudah tidak cukup melayani arus bongkar muat minyak. Selain itu kilang Tuban perlu di tambah seiring dengan meningkatnya arus bongkar muat, penambahan kilang minyak bertujuan agar Indonesia tidak lagi mengandalkan kilang minyak dari luar negeri, dan bisa mengolah minyak mentah dari dalam negeri.

Dengan melihat permasalahan yang ada, akibat meningkatnya arus bongkar muat, maka dibutuhkan suatu design struktur dermaga yang memenuhi standart dan dapat dilaksanakan di lapangan. Dalam tugas akhir ini *jetty* yang direncanakan yaitu *jetty* selatan yang terletak disebelah kanan. Untuk *jetty* selatan menyalurkan hasil Minyak MDO (*Marine Diesel Oil*) dan Minyak IFO (*Intermediate Fuel Oil*).

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang terdapat dalam dermaga TPPI di Tuban dikarenakan kapasitas existing dermaga yang sudah tidak lagi cukup untuk memenuhi kebutuhan IFO dan MDO, sehingga diperlukan pembangunan dermaga (jetty) baru agar dapat melayani peningkatan arus bongkar muat.

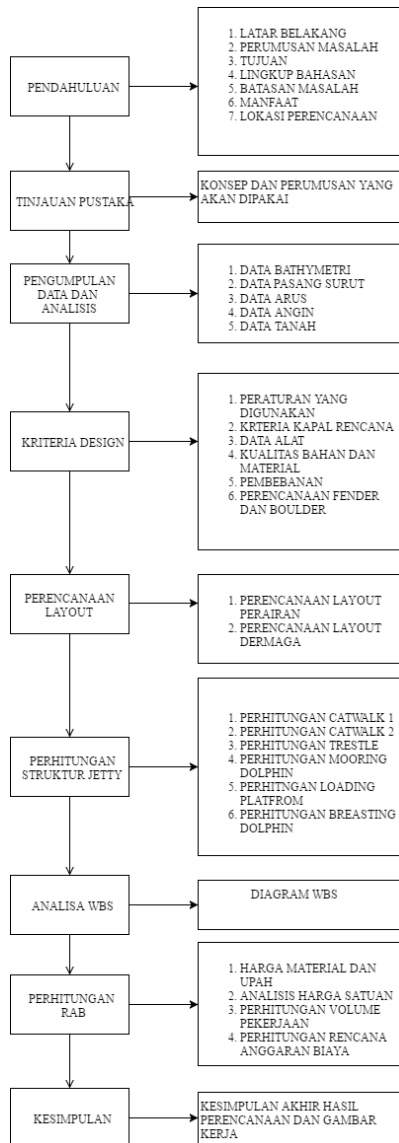
1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari Tugas Akhir ini meliputi:

- a. Mampu merencanakan detail struktur dermaga TPPI di Tuban sesuai standart perencanaan.
- b. Mampu menghitung rencana anggaran biaya (RAB) dermaga TPPI di Tuban.
- c. Mampu membuat WBS (*Work Breakdown Structures*) dermaga TPPI di Tuban.
- d. Mampu menganalisa biaya dan waktu dermaga TPPI menggunakan kurva-S.

1.4 Lingkup Bahasan

Langkah – langkah dalam perencanaan dermaga TPPI Tuban akan tersaji pada (**Gambar 1.1**)



Gambar 1. 1 Diagram Alur Pengerjaan Tugas Akhir

1.5 Batasan Masalah

- a. Tidak melakukan pengukuran lapangan dan data yang digunakan adalah data sekunder.
- b. Tidak melakukan perhitungan struktur breakwater.
- c. Tidak melakukan evaluasi sedimentasi dan pengerukan.

1.6 Manfaat

Manfaat yang ingin dicapai dari Tugas Akhir ini meliputi:

- a. Memberikan gambaran tentang perencanaan pembangunan dermaga terminal khusus TPPI di Tuban yang nantinya akan mempermudah bagi pihak terkait dalam pembangunan dermaga tersebut.
- b. Sebagai referensi untuk mahasiswa, instansi, dan pihak lainnya yang berencana melakukan pengembangan pelabuhan serupa.

1.7 Lokasi Perencanaan

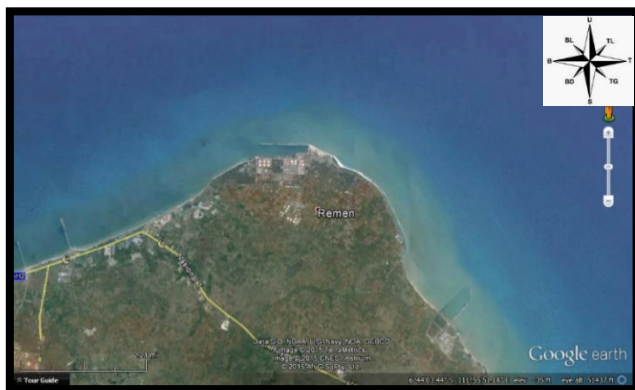
Tuban merupakan kota industri berbasis migas dan kondensat di Jawa Timur yang terletak sekitar 79 km dari Blok Cepu. Kota Tuban mempunyai letak yang strategis, yakni di perbatasan Provinsi Jawa Timur dan Jawa Tengah. Letak geografis

dari kota Tuban adalah $6^{\circ}45'45.22''$ LS dan $111^{\circ}57'37.93''$ BT dapat dilihat pada (**Gambar 1.2**)



Gambar 1. 2 Titik Koordinat Peta Tuban
(Sumber : google.earth)

Peta kota Tuban dapat dilihat pada (**Gambar 1.3**) di bawah ini.



Gambar 1. 3 Peta Kota Tuban
(Sumber : google.earth)

Pengembangan dilakukan dengan menambah struktur jetty selatan. Adapun lokasi yang dipilih untuk pengembangan dan masterplan dermaga terdapat pada **(Gambar 1.4)** dan **(Gambar 1.5)**.



Gambar 1. 4 Lokasi Pengembangan Dermaga TPPI
(Sumber : google.earth)



Gambar 1. 5 Masterplan Pembangunan Dermaga
(Sumber : google.earth)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Dalam tinjauan pustaka ini akan dibahas tentang dasar teori dan rumusan yang digunakan dalam perencanaan dermaga *PT Trans Pacific Petrochemical Indotama* di Tuban.

2.2 Data dan Analisis

2.2.1 Data Bathymetri

Prinsip dasar peta bathymetri adalah untuk menunjukkan kontur kedalaman dasar laut diukur dari posisi 0.00 m LWS. Fungsi dari peta Bathymetri antara lain:

- Mengetahui kedalaman perairan dan bentuk kontur dasar laut sehingga dapat digunakan untuk merencanakan kedalaman perairan yang aman bagi kapal.
- Mengetahui tingkat kelandaian dasar laut sehingga dapat digunakan penentuan tipe dermaga yang sesuai.
- Berguna untuk menentukan elevasi rencana dermaga.

Dalam penentuan peta bathymetri dapat menggunakan beberapa metode. Metode yang digunakan antara lain menggunakan Theodolit atau EDM (*Electronic Data Measurement*) dan GPS (*Global Positioning System*) yang digunakan untuk alat ukur jarak jauh. Sedangkan alat ukur untuk menentukan kedalaman menggunakan Echosounder beserta alat bantu lainnya. Hasil dari pemetaan bathymetry merupakan garis kontur.

2.2.2 Data Pasang Surut

Pasang Surut adalah fenomena naik dan turunnya permukaan air laut secara periodik yang disebabkan oleh adanya pengaruh gaya tarik Matahari terhadap Bumi dan terhadap Bulan, serta pengaruh bintang serta benda angkasa lain.

Dalam perencanaan pelabuhan data pasang surut digunakan untuk mengetahui elevasi tertinggi dan terendah muka air laut. Tinggi Pasang surut dapat ditentukan dengan melihat selisih elevasi tertinggi (pasang) dan elevasi terendah (surut) air laut yang diamati selama kurang lebih satu bulan. Variasi muka air akibat fenomena pasang surut ini menimbulkan arus bergerak dari daerah yang memiliki elevasi muka air tinggi ke rendah yang disebut dengan arus pasang surut. Pada umumnya elevasi tertinggi atau elevasi muka air pasang digunakan untuk menentukan tinggi dermaga atau breakwater. Sedangkan nilai elevasi terendah atau elevasi muka air surut digunakan untuk menentukan alur kedalaman dalam pelayaran.

Berdasarkan periodenya, pasang surut secara umum dibedakan menjadi 4 type yaitu pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), harian ganda (*semidiurnal tide*) dan campuran.

- Pasang harian tunggal (*diurnal*) bila terjadi 1 kali pasang dan surut dalam sehari sehingga dalam satu periode berlangsung sekitar 12 jam 50 menit.
- Pasang harian ganda (*semi diurnal*) bila terjadi 2 kali pasang dan 2 kali surut dalam sehari.
- Pasang surut campuran (*mixed*) : baik dengan didominasi semi diurnal maupun diurnal.

Komponen penting yang perlu diketahui sebagai hasil analisis data pasang surut adalah:

- LWS (*Low Water Spring*) merupakan hasil perhitungan level muka air rata-rata terendah (surut).
- MSL (*Mean Sea Level*) adalah elevasi rata-rata muka air pada kedudukan pertengahan antara muka air terendah dan tertinggi.
- HWS (*High Water Spring*) adalah elevasi rata-rata muka air tertinggi (pasang).

2.2.3 Data Arus

Arus terjadi akibat adanya perubahan ketinggian permukaan air laut. Perubahan tersebut akan menyebabkan pergerakan air secara horisontal. Kegunaan data arus pada perencanaan pelabuhan antara lain:

- Menghindari pengaruh tekanan arus arah tegak lurus kapal (*cross currents*), agar dapat bermanuver dengan cepat dan mudah. Kecepatan yang diperbolehkan tidak boleh lebih dari 3 knot.
- Mengevaluasi kondisi stabilitas garis pantai, mengalami erosi atau sedimentasi. Analisis Pengolahan data arus disusun berdasar frekuensi arah dan kecepatan arus sesuai pola aliran pasang surut.

2.2.4 Data Angin

Angin terjadi karena adanya perbedaan suhu dan tekanan yang ada disekitarnya. Angin mengalir dari tekanan tinggi menuju tekanan rendah atau dari suhu tinggi menuju suhu rendah ,oleh sebab itu terjadi angin laut dan angin darat. Angin merupakan unsur dominan yang membentuk gelombang. Angin yang bergesekan langsung dengan permukaan air laut menjadikan angin sebagai salah satu sebab terjadinya gelombang. Semakin besar kecepatan angin semakin besar pula tinggi gelombang yang terjadi. Komponen data angin mencakup distribusi arah dan kecepatan angin.

Data angin dapat diperoleh dari stasiun meteorologi terdekat dengan daerah yang akan direncanakan. Pada umumnya dibutuhkan data angin minimal 5 tahun untuk dapat mempelajari pola angin yang menyebabkan tinggi gelombang maksimum yang terjadi tiap tahunnya.

2.2.5 Data Gelombang

Gelombang merupakan salah satu faktor penting dalam perencanaan pelabuhan. Data gelombang ini dibutuhkan untuk mengetahui tinggi gelombang di wilayah perairan pelabuhan, sehingga dapat diputuskan perlu atau tidaknya ada konstruksi Breakwater atau bangunan pelindung pantai di daerah tersebut. Gelombang dapat dipengaruhi beberapa hal, antara lain angin, pasang surut, gunung meletus atau gempa laut, kapal yang bergerak dan lain sebagainya, dari beberapa hal faktor penyebab terciptanya gelombang yang paling utama adalah gelombang yang disebabkan angin dan pasang surut, tetapi pasang surut tidak terlalu berpengaruh terhadap gelombang.

Selain gelombang menghasilkan energy yang dapat mengenai bangunan pelabuhan, gelombang juga bisa menimbulkan arus dan transpose sedimen di daerah pantai. Layout pelabuhan harus direncanakan sedemikian rupa sehingga sedimentasi yang berakibat pada pendangkalan di wilayah pelabuhan dapat dihindari.

Tinggi gelombang kritis untuk bongkar muat ditentukan berdasarkan jenis kapal, ukuran dan kondisi bongkar muat, yang dapat diberikan dalam **(tabel 2.1)**

Tabel 2. 1 Tinggi gelombang ijin di Pelabuhan

Ship size	Threshold wave height for cargo handling ($H_{1/3}$)
Small-sized ships	0.3 m
Medium- and large-sized vessels	0.5 m
Very large vessels	0.7 ~ 1.5 m

(Sumber : OCDI, 2002)

2.2.6 Data Tanah

Survey data tanah bertujuan untuk merencanakan struktur bagian bawah sistem jetty. Beberapa pengambilan data tanah yang dilakukan adalah dengan pengeboran dengan mesin bor. Kedudukan titik bor dilakukan dengan bantuan alat teodolit. Kemudian contoh dari hasil pemboran ini disajikan dalam bentuk *booring log*. Uji penetrasi standar (SPT) dilakukan dalam interval 2 atau 3 m, dimaksudkan untuk memperoleh nilai N dari lapisan-lapisan tanah bawah.

2.2.7 Data Kapal

Data kapal digunakan untuk mengetahui jenis dan berat kapal yang akan bersandar di dermaga. Dalam perencanaan data kapal yang diperlukan adalah bobot kapal, panjang kapal, lebar dan draft kapal.

2.3 Perencanaan Layout Perairan Dan Dermaga

Perencanaan layout meliputi perencanaan layout perairan dan dermaga. Perencanaan layout perairan berupa kedalaman kebutuhan perairan yang dibutuhkan, lebar alur, kebutuhan kolam dermaga. Sedangkan perencanaan layout dermaga berupa perencanaan kebutuhan dermaga, *trestle*, jarak *breasting* dan *mooring dolphin*, serta elevasi yang di butuhkan. Perencanaan ini bertujuan agar layout sesuai dengan standar yang ada.

2.3.1 Perencanaan Layout Perairan

a. Areal Penjangkaran (*Anchorage Area*)

Areal penjangkaran adalah lokasi kapal menunggu sebelum dapat bertambat atau memasuki alur, baik karena menunggu cuaca membaik, atau karena jetty dan alur yang akan digunakan masih terpakai, alasan karantina, atau oleh sebab yang lain.

Kebutuhan areal penjangkaran areal penjangkaran dapat ditentukan dengan menggunakan perumusan seperti pada **(tabel 2.2)**

Tabel 2. 2 Kebutuhan Areal Penjangkaran

Tujuan penjangkaran	Dasar laut atau Kecepatan angin		Jari-jari
Menunggu atau inspeksi muatan	Penjangkaran baik	Swinging	LOA + 6 d
		Multiple	LOA + 4,5 d
	Penjangkaran jelek	Swinging	LOA + 6 d + 30 m
		Multiple	LOA + 4,5 d + 25 m
Menunggu cuaca baik	Kec.Angin V= 20 m/dtk		LOA + 3 d + 90 m
	Kec.Angin V= 30 m/dtk		LOA + 4 d + 145 m

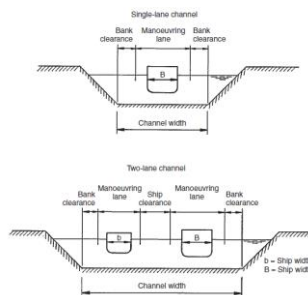
(Sumber: Thoresen, 2003)

Untuk kebutuhan kedalaman anchorage area, sebagai berikut :

$$D = 1.5 \times \text{Draft}$$

b. Alur Masuk (*Entrance Channel*)

Dalam merencanakan lebar alur masuk, perlu diperhatikan juga kondisi perairan yang ada. Perencanaan lebar alur masuk, mengacu kepada *Port Designer Handbook*, *Throesen*, dimana untuk lebar alur dengan dua jalur dibagi menjadi tiga zona yaitu maneuvering lane, bank clearance, dan ship clearance lihat **(Gambar 2.1)**



Gambar 2. 1 Lebar Alur Masuk Kapal

(Sumber: Thoresen, 2003)

Adapun rumus untuk mencari lebar masing-masing zona adalah sebagai berikut:

$$\text{Maneuvering Lane} = 1.6 \times B$$

$$\text{Bank Clearance} = 1 \times B$$

$$\text{Ship Clearance} = 30 \text{ m}$$

$$\text{Total lebar alur masuk} = (2 \times \text{maneuvering lane}) + (2 \times \text{bank clearance}) + 30$$

Untuk kebutuhan kedalaman *Entrance Channel*, sebagai berikut :

$$D = 1.1 \times \text{Draft}$$

c. Kolam Putar (*Turning Basin*)

Kolam putar (*turning basin*), berada di ujung alur masuk atau dapat diletakkan di sepanjang alur bila alurnya panjang ($> S_d$). Kapal diharapkan bermanuver pada kecepatan rendah (mendekati nol) atau dipandu. Areal yang disediakan dibatasi dengan bentuk lingkaran berdiameter (D_b). Kedalaman perairan dapat disamakan dengan alur masuk.

$$D_b = 3 \times \text{LOA} \quad (2.1)$$

(untuk kapal bermanuver dengan dipandu)

$$D_b = 4 \times \text{LOA}$$

(untuk kapal bermanuver tanpa bantuan pandu)

Untuk kebutuhan kedalaman *Turning Basin*, sebagai berikut :

$$D = 1.1 \times \text{Draft}$$

d. Kolam Dermaga (*Basin*)

Kolam jetty (*basin*), berada di depan jetty dan luasan ini perlu ditentukan bila kedalaman perairan perlu dikeruk dan untuk menentukan jarak antar jetty yang saling berhadapan. Panjang kolam yang akan dikeruk adalah

panjang jetty ditambah area keselamatan kapal. Secara keseluruhan ukuran kolam sebagai berikut :

Panjang =

$1,25 * LOA$, bila dengan dibantu kapal pandu (2.2)

$1,50 * LOA$, bila tanpa dibantu kapal pandu

Lebar =

$4 * B + 50 \text{ m}$, 1 jetty berhadapan (2.3)

$2 * B + 50 \text{ m}$, > 1 jetty berhadapan

$1,25 B$, jetty bebas

e. Kedalaman Kolam Dermaga

Kedalaman perairan, pada prinsipnya harus lebih dalam dari draft penuh kapal terbesar, ditambah alokasi untuk gerakan osilasi akibat gelombang dan angin maupun arus serta squad dan trim sebagai konsekuensi pergerakan kapal, ditambah lagi alokasi untuk ketidakteraturan kedalaman perairan dan kondisi tanah dasar laut. Untuk kemudahan penentuan dalam menentukan kedalaman perairan dapat digunakan aturan sebagai berikut :

Perairan Tenang = $1,1 * \text{draft kapal}$ (2.4)

Perairan terbuka = $1,2 * \text{draft kapal}$

f. Elevasi Dolphin

Elevasi dolphin dihitung pada saat air pasang dengan perumusan :

$El = HWS + (0.5 - 1.5) \text{ m}$

2.3.2 Perencanaan Layout Dermaga

Perencanaan layout dermaga berupa perencanaan, *loading platform*, *catwalk*, *mooring dolphin* dan *breasting dolphin* agar sesuai dengan standart yang telah ditentukan.

a. *Loading Platform*

Loading Platform adalah bagian jetty berupa pelat sebagai tempat peralatan bongkar-muat seperti Loading arm, peralatan keselamatan seperti fire fighting, tower gangway, dan peralatan lainnya.

Dimensi utama dari Loading platform ditentukan oleh jarak yang dibutuhkan manifold dan Loading arm. Jarak minimum antar Loading arm adalah 3 - 4.5 m. dimensi umum dari Loading platform 24 x 18 m².

b. *Mooring Dolphin*

Mooring Dolphin adalah bagian struktur jetty untuk menahan gaya tarikan kapal/mengikat kapal. Mooring Dolphin harus ditempatkan berjarak 35 – 50m di belakang Berthing face agar sudut vertical tidak melebihi 30°. Jarak antar Mooring Dolphin ditentukan dengan menggunakan rumus:

Inner = 0.80 LOA Kapal terbesar

Outer memakai sudut 15 derajat

Penempatan Mooring Dolphin harus diatur sedemikian rupa sehingga sudut horizontal yang dibutuhkan oleh tali tidak melebihi ketentuan yang berlaku.

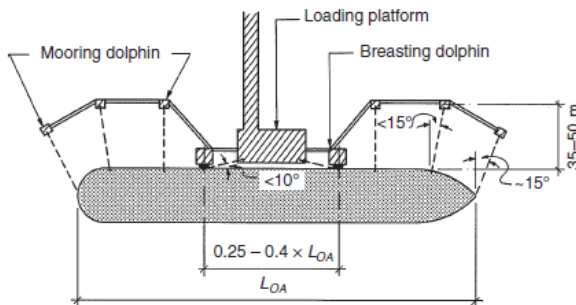
c. *Breasting Dolphin*

Breasting Dolphin adalah bagian struktur jetty minyak untuk menyerap energi kinetic kapal yang bersandar, memegang kapal, mengikat surface line kapal. Breasting Dolphin harus bersifat fleksibel karena harus mampu menyerap EK kapal. Jarak antar Breasting Dolphin dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

Jarak = 0.25 – 0.40 LOA Kapal terbesar

d. Ketentuan Perencanaan Layout Dermaga

- Mooring layout harus simetris
- Sudut horizontal mooring line pada bow dan stern tidak lebih dari 45^0
- Sudut horizontal breast mooring line tidak lebih dari 15^0
- Sudut vertical spring mooring line tidak lebih dari 10^0
- Sudut vertical mooring line tidak lebih dari 30^0
- Mooring line untuk gaya lateral tidak dikumpulkan pada bow dan stern saja
- Loading platform ditempatkan agak kebelakang agar tidak terkena tumbukan kapal
- Jumlah mooring dolphin ditentukan dari jumlah boulder yang dibutuhkan
- Jarak breasting dolphin tergantung dari selisih panjang antara kapal terbesar dan terkecil, apabila masih dalam range yang ditentukan boleh dipakai dua Breasting Dolphin saja.



Gambar 2. 2 Ketentuan Perencanaan Jetty
(Sumber : Thoressen, 2003)

2.4 Perhitungan Fender Dan Bollard

2.4.1 Fender

Fender merupakan salah satu aksesoris jetty yang berfungsi sebagai peredam energi tumbukan kapal yang berlabuh.

Untuk menentukan ukuran fender, harus dihitung terlebih dahulu besarnya Ef. Dimana Ef, merupakan energi kinetik yang timbul pada waktu kapal merapat. Rumus untuk menemukan Ef diturunkan dari rumus Energi Kinetik yang disesuaikan dengan kondisi sistem merapat kapal, yaitu adanya faktor C:

$$E_f = C * (\frac{1}{2} W * V^2)/g \quad (2.5)$$

$$E_f = C_H * C_E * C_C * C_S (\frac{1}{2} W_s * V^2)/g \text{ [ton-m]}$$

Dimana :

C_H = Koefisien massa hydrodinamis merupakan faktor untuk memperhitungkan besarnya massa air yang bergerak di sekeliling kapal dan massa air ini menambah besar massa kapal yang merapat

$$C_H = 1 + \frac{2\pi * D}{2C_b * B} \approx 1 + \frac{2D}{B} \quad (2.6)$$

C_E = Koefisien eccentricity merupakan koefisien perbandingan antara energy yang tersisa akibat merapatnya kapal terhadap energy kinetik waktu merapat

$$C_E = 1 + \frac{1}{1 + (\ell/r)^2} \quad (2.7)$$

C_C = Adalah koefisien untuk konfigurasi struktur tambatan dalam rangka memperhitungkan adanya efek bantalan air. Efek ini timbul karena adanya massa air yang terjepit antara posisi kapal merapat dengan tambatan.

$C_C = 0,8$ untuk kade, wharf

$C_C = 1$ untuk jetty, open pier

C_S = Softness Coefficient. = 1,0 (tidak ada deformasi).

V = Kecepatan kapal waktu merapat

WS = Displacement Tonage.

Kondisi merapat abnormal terjadi saat energy merapat normal terlampaui, akibat kesalahan manusia, kerusakan kapal, kondisi cuaca ekstrem atau kombinasi berbagai faktor ini. Energy abnormal (E_a) yang harus mampu diserap fender sebesar:

$$E_a = F_s \times E_f$$

Dimana,

E_f = Energi kinetik (kNm)

F_s = Faktor keamanan untuk kapal lihat (**tabel 2.3**)

Tabel 2. 3 Faktor Koreksi PIANC 2002

PIANC Factors of Safety (F_s)

Vessel type	Size	F_s
Tanker, bulk, cargo	Largest	1.25
	Smallest	1.75
Container	Largest	1.5
	Smallest	2.0
General cargo		1.75
RoRo, ferries		≥ 2.0
Tugs, workboats, etc		2.0

(Sumber: PIANC, 2002 Tabel 4.2.5)

2.4.2 Bollard

Bollard merupakan konstruksi untuk mengikat kapal pada tambatan. Posisi pengikat boulder terdapat di sekitar ujung depan (*bow*) dan di ujung belakang (*stern*). Gaya tarik boulder yang digunakan disesuaikan dengan bobot kapal sedangkan diameternya ditentukan berdasarkan gaya tarik kapal. Untuk menentukan gaya tarikan kapal dapat dilihat pada (**tabel 2.4**).

Tabel 2. 4 Nilai MBL Untuk Menentukan Gaya Tarikan Kapal

Number of Winches	Nominal Size (ton)	Drum Load (kN)	Holding Load (kN)	Design Rope dia (mm)	MBL (kN)	Approximate Ship Size Range, Tons deadweight	
						Conventional Ships, Tanker, Bulkcarriers, etc	Special Ships, Large Wind area, Container, Passenger, etc.
4	12	120	310	26	378	8000	5000
4	16	160	470	32	573	15000	8000
6	16	160	470	32	572	25000	12000
6	20	200	590	36	725	35000	20000
6	25	250	730	40	895	50000	30000
6	32	315	880	44	1080	65000	45000
6	40	400	1050	48	1290	80000	60000
6	50	500	1280	51	1590	110000	85000
6	64	640	1560	57	1980	150000	120000
6	80	800	1940	64	2420	210000	
6	100	1000	2430	77	3400	300000	

(Sumber : *Advances in Brething and Mooring of Ships and Offshore Structure*)

Nilai tersebut harus dibandingkan dengan gaya tarik kapal akibat tekanan arus dan angin, kemudian dipilih yang terbesar untuk perencanaan boulder.

2.4.2.1 Perhitungan Beban Akibat Arus dan Angin

a. Gaya Akibat Arus

Tekanan akibat arus pada kapal yang tertambat:

$$P_C = \frac{C_C \times \gamma_C \times A_C \times V_C^2}{2g} \quad (2.8)$$

Dimana :

γ_C = Berat jenis air laut (=10,34 kN/m³)

A_C = Luasan kapal di bawah permukaan air (m²)

V_C = Kecepatan arus (m/dt)

C_C = Koefisien arus

= 1 - 1,5 (untuk perairan dalam)

= 2 (untuk kedalaman perairan = 2 x draft kapal)

= 3 (untuk kedalaman perairan = 1,5 x draft kapal)

= 6 (kedalaman perairan mendekati draft kapal)

b. Gaya Akibat Angin

Tekanan angin pada badan kapal yang ada di atas air dihitung dengan rumus:

$$P_W = C_W (A_W \sin \phi + B_W \cos \phi) \frac{V_W^2}{1600} \quad (2.9)$$

Dimana :

P_w = Tekanan angin pada kapal yang bertambat

C = Koefisien tekanan angin

Angin melintang $\rightarrow C_w = 1,3$

Angin dari depan $\rightarrow C_w = 0,9$

A_w = Luasan proyeksi arah memanjang (m^2)

B_w = Luasan proyeksi arah muka (m^2)

ϕ = Sudut arah datangnya angin terhadap centerline

V_w = Kecepatan angin (m/s)

2.5 Kriteria Pembebanan

Sesuai dengan kriteria pembebanan yang terjadi untuk struktur platform sendiri hanya menerima beban vertical (beban mati, beban hidup merata dan beban hidup terpusat), struktur mooring dolphin sendiri di desain hanya menerima beban horizontal (gaya tarikan kapal dan gaya angin) dan struktur bresting dolphin di desain hanya menerima beban horizontal (gaya tubruk kapal dan gaya angin).

2.5.1 Beban Vertikal

Beban vertikal dermaga terdiri dari :

b. **Beban Mati (Beban Sendiri Konstruksi)**

Beban mati adalah berat sendiri dari komponen struktur yang secara permanen dan konstan membebani selama waktu hidup konstruksi. Komponen-komponen tersebut diantaranya balok, plat, poer, fender, bolder dan fasilitas – fasilitas lainnya.

c. **Beban Hidup Merata Akibat Muatan**

Beban hidup merupakan beban yang terjadi akibat muatan yang dianggap merata di atas dermaga. Beban hidup terbagi rata bisa berupa beban air hujan dan beban muatan.

- d. **Beban Hidup Terpusat**
 Beban hidup terpusat yang terjadi pada struktur dermaga merupakan beban akibat alat yang besarnya ditentukan berdasarkan peralatan yang akan digunakan di atas dermaga tersebut dan harus diposisikan sedemikian rupa sehingga menghasilkan kondisi pembebanan yang paling kritis.

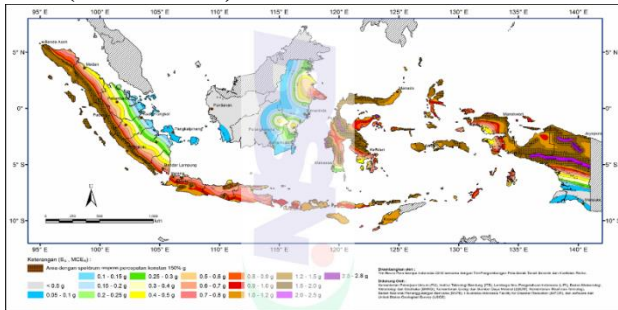
2.5.2 **Beban Horizontal**

Beban horizontal dermaga terdiri dari :

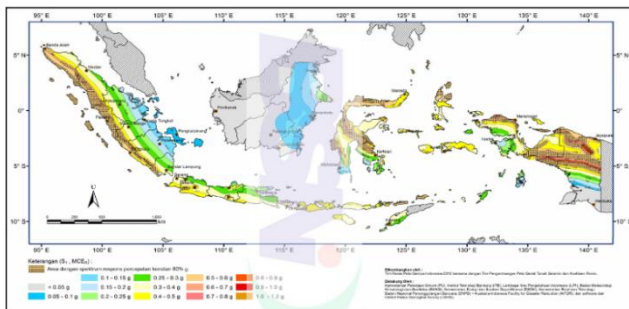
- a. **Gaya Akibat Tumbukan Kapal (Gaya Fender)**
 Gaya fender yang terjadi saat kapal sedang merapat berupa gaya pukul kapal pada fender akibat kecepatan dan berat kapal pada saat merapat, serta akibat pergoyangan kapal oleh gelombang dan angin. Energi ini kemudian diserap sebagian dan menyalurkan sebagian lagi energi yang harus mampu ditahan kepada struktur dermaga sebagai gaya horisontal tekan. Hubungan antara gaya dan energi benturan tergantung pada tipe fender yang digunakan.
- b. **Gaya Tarikan Kapal**
 Gaya tarik yang bekerja pada saat kapal sedang bertambat sangat berpengaruh pada stabilitas struktur dermaga karena adanya gaya yang cukup besar. Beban tarik ini akan ditahan oleh struktur boulder yang didisain untuk menahan gaya tarikan akibat kapal, angin dan arus. Gaya tarik boulder diambil yang terbesar dari :
- Kekuatan boulder yang dipakai yang besarnya ditentukan oleh ukuran kapal yang bertambat (lihat pada pembahasan *boulder*).
 - Total dari gaya angin dan gaya arus yang bekerja pada badan kapal.

c. **Beban Gempa**

1. Tentukan jenis tanah, lokasi, dan fungsi bangunan
2. Menentukan nilai S_s dan S_1 lihat (**Gambar 2.3**) dan (**Gambar 2.4**)



Gambar 2. 3 S_s Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertrget (MCE_R) kelas situs SB, SNI 1726 2012



Gambar 2. 4 S_1 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertrget (MCE_R) kelas situs SB, SNI 1726 2012

- Menentukan F_a dan F_v dapat dilihat pada (**tabel 2.5**) dan (**tabel 2.6**)

Tabel 2. 5 Koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

CATATAN:

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
 (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Tabel 2. 6 Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

CATATAN :

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier
 (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

- Menentukan nilai S_{MS} dan S_{M1}
- Menentukan nilai S_{DS} dan S_{D1}

3. Menentukan Nilai T_0 dan T_s

4. Menentukan Nilai S_a

Untuk menentukan nilai s_a terlebih dahulu mencari nilai C_t , dapat dilihat pada (**tabel 2.7**)

Tabel 2. 7 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

5. Menentukan faktor keutamaan bangunan (I)
6. Menghitung faktor reduksi beban gempa (R^a)
7. Menghitung waktu getar (T)

2.5.3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban ini dilakukan untuk memperoleh kondisi pembebanan yang paling kritis pada struktur. Kombinasi pembebanan perlu memperhitungkan kemungkinan gaya-gaya yang menambah atau mengurangi efek dari beban-beban yang bekerja. Dalam perencanaan ini dipergunakan kombinasi beban sebagai berikut:

- a. Struktur Catwalk
 - 1.2 D + 1.6 L
 - 1.2 D + 1.0 L + 1.6 W
 - 0.9 D + 1.6 W
- b. Loading Platform
 - D + L
 - D + P
 - D + 0.5 L + Gx + 0.3 Gy
 - D + 0.5 L + 0.3 Gx + Gy

- c. Mooring Dolphin
 $D + L$
 $D + L + B$
 $D + 0.5 L + G_x + 0.3 G_y$
 $D + 0.5 L + 0.3 G_x + G_y$

- d. Breasting Dolphin
 $D + L$
 $D + L + F$
 $D + 0.5 L + G_x + 0.3 G_y$
 $D + 0.5 L + 0.3 G_x + G_y$

Dimana:

D = Dead load
 L = Live load
 P = Beban terpusat
 B = Beban boulder
 F = Beban fender
 G_x = Beban gempa arah x
 G_y = Beban gempa arah y

2.6 Perhitungan Struktur Dermaga

Perencanaan struktur yang akan dijelaskan adalah untuk struktur dermaga *open pier/jetty*. Prosedur perencanaannya adalah sebagai berikut:

- Perencanaan layout atau denah untuk penentuan ukuran *Loading Platform*, *Trestle*, *Mooring* dan *Breasting Dolphin* serta tata letak fasilitas lainnya.
- Penentuan layout balok, posisi tiang pancang, posisi dilatasi antar blok dermaga dan lokasi fasilitas lain seperti fender dan boulder.
- Penentuan dimensi masing-masing struktur yaitu pelat, balok, dan sebagainya.
- Penentuan beban yang bekerja pada masing-masing bagian struktur
- Perhitungan kekuatan struktur dan penulangan

- f. Pengecekan terhadap stabilitas struktur secara keseluruhan terhadap gelombang dan kondisi tanah
- g. Pembuatan detail gambar dan spesifikasi bahan.

2.6.1 Perhitungan Struktur Atas

Perencanaan bangunan atas meliputi perencanaan pelat, balok memanjang serta balok melintang dengan menggunakan program bantu SAP 2000 V14.0 dan penulangan memakai peraturan PBI 71 dengan alasan:

- Pada struktur di daerah pantai harus dihindari adanya retak agar tidak terjadi pengkaratan pada tulangan yang akan berakibat fatal pada kerusakan struktur
- Pada bangunan pelabuhan sering terjadi beban berlebih akibat beban luar baik berupa arus, gelombang, gempa dan lain-lain

2.6.1.1 Perhitungan Pelat

1. Momen pelat

Pada perhitungan pelat diasumsikan terjepit penuh karena kekakuan balok dianggap jauh lebih besar dari kekakuan pelat sehingga pada tumpuan tidak terjadi perputaran. Menurut (*PBI 71 tabel 13.3.1*) momen tumpuan dan momen lapangan menggunakan persamaan berikut:

$$Ml = 0,001.q.lx^2.X \quad (2.10)$$

$$Mt = -0,001.q.lx^2.X \quad (2.11)$$

Dimana :

- Ml = momen lapangan pelat (tm)
- Mt = momen tumpuan pelat (tm)
- q = beban terbagi rata pelat (t/m)
- lx = panjang bentang pendek pelat (m)
- X = koefisien dari (*PBI tabel 13.3.1*)

2. Penulangan pelat

Pada pelat dipakai tulangan rangkap dengan asumsi bahwa struktur adalah statis tertentu.

Metode penulangan pelat meliputi :

- Menentukan besarnya M_{lx} , M_{ly} , M_{tx} , M_{ty} pada pelat
- Menentukan perbandingan antara luas tulangan tarik dengan tulangan tekan (δ). Pada pelat dianggap tidak memerlukan tulangan tekan sehingga $\delta = 0$
- Menghitung nilai C_a dengan persamaan:

$$C_a = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma'_a}}} \quad (2.12)$$

Dimana :

h = Tinggi manfaat penampang

b = Lebar penampang (untuk pelat = 1000mm)

M = Momen ultimate

n = Angka ekivalensi baja beton

σ'_a = Tegangan ijin baja (*tabel 10.4.1 PBI'71*)

- Mencari nilai ϕ , ϕ' , dan ω dari tabel

Dari “*Tabel Perhitungan Lentur dengan Cara-n disesuaikan kepada peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 oleh Ir. Wiratman W*”

$$\phi > \phi_o = \frac{\sigma'_a}{n \times \sigma'_a} \quad (2.13)$$

Dimana :

σ'_b = Tegangan tekan beton akibat lentur tanpa dan atau dengan gaya normal tekan = $0,33\sigma'_b k$

- Mencari kebutuhan tulangan

$$A_s = \omega \times b \times h \quad (2.14)$$

f. Kontrol retak

Berdasarkan (PBI 1971 pasal 10.7.1b) retak yang diijinkan 0,01 cm. Dengan menggunakan (tabel 10.7.1 PBI 1971) maka didapatkan koefisien - koefisien ω_p , C_3 , C_4 dan C_5 yang harus diambil dari (Tabel 10.7.1, PBI 1971) (**tabel 2.8**)

Tabel 2. 8 Harga Koefisien ω_p , C_3 , C_4 dan C_5

Uraian	ω_p	C_3	C_4	C_5
Balok persegi dan balok T yang mengalami lentur murni	$\frac{A}{b_o \cdot h}$	1,50	0,04	7,5
Balok persegi dan balok T yang mengalami lentur dengan gaya normal tekan	$\frac{A}{b(h-y)}$	1,50	0,07	12
Bagian-bagian konstruksi yang mengalami tarik aksial	$\frac{A}{B_t}$	1,50	0,16	30

(Sumber : Tabel PBI 1971)

$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6} \quad (2.15)$$

Dimana:

c = tebal penutup beton (cm)

d = diameter batang polos atau pengenal (cm)

σ_a = tegangan baja yang bekerja ditempat yang retak (kg/cm^2)

A = luas tulangan tarik (cm^2)

b = lebar balok (cm)

h = tinggi manfaat balok (cm)

y = jarak garis netral terhadap sisi yang tertekan (cm)

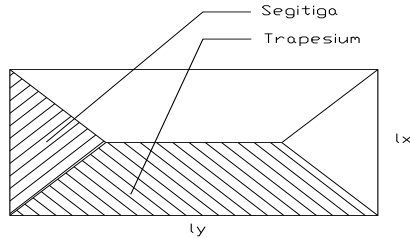
B_t = luas penampang beton yang tertarik (cm^2)

α = koefisien yang bergantung pada jenis batang tulangan (1.2 untuk batang polos dan 1 untuk batang yang diprofilkan)

2.6.1.2 Perhitungan Balok dan Poer

1. Perhitungan beban pelat pada balok

Distribusi beban pada pelat dapat dilihat pada (**Gambar 2.5**) di bawah ini :



Gambar 2. 5 Distribusi beban pelat

- a. Beban pelat q (t/m^2)

$$P = \frac{1}{2} q l_x \quad (2.16)$$

- b. Beban segitiga

$$q_{eq} = \frac{2}{3} P = \frac{1}{3} q l_x \quad (2.17)$$

- c. Beban trapezium

$$q_{eq} = P \left[1 - \frac{1}{3} \frac{l_x^2}{l_y^2} \right] = \frac{1}{2} q l_x \left[1 - \frac{1}{3} \frac{l_x^2}{l_y^2} \right] \quad (2.18)$$

2. Penulangan balok dan poer

Penulangan balok dihitung dengan menggunakan perhitungan lentur “n”. Untuk perhitungan tulangan, poer dianalisis sebagai balok jika perbandingan antara tebal poer dan lebar poer $> 0,4$. Metode perhitungan tulangan utama balok dan poer seperti pada pelat yaitu:

- a. Menentukan besarnya momen tumpuan dan lapangan yang bekerja pada balok dari hasil analisis SAP 2000.
- b. Menentukan perbandingan antar luas tulangan tarik dengan tulangan tekan (δ). Nilai δ diambil mulai dari 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 ; 1,0 ; 1,25 ; 1,67 sampai 2,50
- c. Menghitung nilai C_a :
- d. Mencari nilai ϕ , ϕ' , dan ω dari tabel
- e. Menghitung luas tulangan tarik dan tekan

$$A = \omega \times b \times h \quad (2.19)$$

$$A_s' = \delta A \quad (2.20)$$

Untuk balok dengan tinggi lebih dari 90 cm perlu dipasang tulangan samping sebesar minimum 10% dari tulangan tariknya (*PBI '71 Pasal.9.3(5)*)

- f. Kontrol terhadap retak

Kontrol retak yangizinkan $< 0,4$ mm

Metode perhitungan tulangan geser balok dan poer adalah sebagai berikut :

- Menentukan besarnya gaya lintang yang bekerja pada tumpuan.
- Menghitung tegangan beton ijin berdasarkan (*PBI '71 tabel 10.4.2*) akibat geser oleh lentur dengan puntir, dengan tulangan geser :
- Untuk pembebanan tetap:
 $\tau'_{bm-t} = 1.35\sqrt{\sigma'}bk$
- Untuk pembebanan sementara:
 $\tau'_{bm-s} = 2.12\sqrt{\sigma'}bk$
- Menghitung tegangan geser lentur beton akibat beban kerja di tengah-tengah tinggi penampang dengan rumus sebagai berikut:

$$\tau_b = \frac{D}{b \times \frac{7}{8}h} \quad (2.21)$$

Dimana :

D = gaya lintang

- Diperlukan tulangan geser jika :

$$\begin{aligned} \tau_b &< \tau_{bm-t} \\ \tau_b &< \tau_{bm-t} \end{aligned} \quad (2.22)$$

- Untuk perhitungan tulangan geser lentur-puntir ini, tegangan geser puntir dapat dianggap seolah-olah memperbesar tegangan geser lentur pada seluruh lebar balok, yang besarnya dapat diambil menurut rumus sesuai (*PBI '71 Pasal 11.8.6*) berikut ini:

$$\tau''_b = \frac{Mt}{b \times Ft} \quad (2.23)$$

Dimana :

Mt = T = Momen torsi akibat beban batas

Ft = luas penampang balok

Disyaratkan dalam (*PBI '71 Pasal 11.8.(4)*)

$$\tau_s \geq \tau_b + \tau_b'' \quad (2.24)$$

- Menghitung jarak tulangan sengkang:

$$as = \frac{As \times \overline{\sigma}_a}{\tau_s \times b} \quad (2.25)$$

2.6.2 Perhitungan Struktur Bawah

2.6.2.1 Perhitungan Daya Dukung Tanah

Pada perhitungan daya dukung tanah menggunakan metode *Luciano Decourt*.

$$Ql = Qp + Qs \quad (2.26)$$

Dimana :

Q_l = daya dukung tanah maksimum (ton)

Q_p = resistance ultime di dasar pondasi (ton)

Q_s = resistance ultime akibat lekatan lateral (ton)

$$Q_p = q_p \cdot A_p = \alpha \cdot (N_p \cdot k) \cdot A_p \quad (2.27)$$

Dimana :

N_p = harga rata-rata SPT sekitar 4B diatas dan dibawah dasar tiang

K = koefisien karakteristik tanah
 12 t/m² untuk lempung (clay)
 20 t/m² untuk lanau berlempung (silty clay)
 25 t/m² untuk lanau berpasir (silty sand)
 40 t/m² untuk pasir (sand)

A_p = luas penampang dasar tiang (m²)

Q_p = tegangan ujung tiang (t/m²)

A = *Base coefficient*

$$Q_s = q_s \cdot A_s = \beta \cdot (N_s/3 + 1) \quad (2.28)$$

Dimana:

q_s = tegangan akibat lekatan lateral (t/m²)

N_s = harga N rata sepanjang tiang tertanam, dengan batasan :
 $3 < N < 50$

A_s = keliling x panjang tiang yang terbenam/luas selimut tiang (m²)

B = *Shaft coefficient*

Koefisien α dan β adalah merupakan berturut-turut *base coefficient* dan *shaft coefficient* menurut Decourt et all (1996) yang nilainya seperti (tabel 2.9) dan (tabel 2.10).

Tabel 2. 9 Base coefficient □ □ Decourt et all (1996)

Soil/pile	Driven Pile	Bored Pile	Bored Pile (bentonite)	Continuous Hollow Auger	Root Piles	Injected Piles (High Pressure)
Clay	1	0.85	0.85	0.3	0.85	1
Intermediate soils	1	0.6	0.6	0.3	0.6	1
Sands	1	0.5	0.5	0.3	0.5	1

(Sumer: Luciano Decourt Handbook)

Tabel 2. 10 Shaft coefficient □ □ Decourt et all (1996)

Soil/pile	Driven Pile	Bored Pile	Bored Pile (bentonite)	Continuous Hollow Auger	Root Piles	Injected Piles (High Pressure)
Clay	1	0.8	0.9	1	1.5	3
Intermediate Soils	1	0.65	0.75	1	1.5	3
Sands	1	0.5	0.6	1	1.5	3

(Sumer: Luciano Decourt Handbook)

2.6.2.2 Kalendering

Perhitungan kalendering saat pemancangan berguna untuk mengetahui daya dukung tiang sehingga bisa diketahui kapan pemancangan dihentikan. Final set adalah nilai penetrasi tiang pancang tiang tiap pukulan yang diperoleh dari hasil kalendering. Untuk kalendering digunakan rumus *Alfred Hilley Formula*:

$$Qu = \frac{\alpha.W.H}{S + 0,5.C} \times \frac{W + n^2.Wp}{W + Wp} \quad (2.29)$$

Dimana :

Qu = bearing capacity of pile (ton)

α = efisiensi hammer

- 2,5 untuk hidrolik hammer
- 1,0 untuk disel hammer
- 0,75 untuk drop hammer

- W = berat hammer (ton)
 W_p = weight of pile (ton)
 H = tinggi jatuh hummer (m)
 n = Coeffisien of restitution
 S = pile penetration for last blow (cm/blow)
 C = total temporary compression (mm)
 = C1 + C2 + C3
 C1 = kompresi sementara dari cushion yang mana menurut BSP adalah :
 - Hardcushion = 3mm
 - Hard cushion + packing, soft cushion = 5mm
 - Soft cushion + packing = 7mm
 C2 = kompresi sementara dari tiang

$$C2 = \frac{Qu.L}{Ap.E_{pile}} \quad (2.30)$$

Untuk tiang beton:

- 400 od = 9mm s/d 12mm
- 500 od = 10mm s/d 14mm

Untuk tiang baja:

- 500 od = 7mm s/d 11mm
- 600 od = 8mm s/d 12mm

- C3 = kompresi sementara dari tanah, dimana nilai nominal
 = 2,5 mm
 - Tanah keras (SPT > 50) : 0-1 mm
 - Tanah sedang (SPT 20-30) : 2-3 mm
 - Tanah lunak (SPT 10-20) : 4-5mm

2.6.2.3 Kontrol Tiang Pancang

1. Titik Jepit tiang (*Point of fixity*)

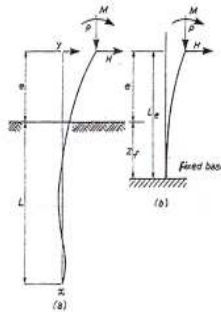
Posisi titik jepit tiang dari permukaan tanah (Z_f) yang dapat dilihat pada (**Gambar 2.6**) untuk *normally consolidated clay* dan *granular soil* adalah 1.8 T, di mana T adalah faktor kekakuan yang dihitung sebagai berikut:

Dimana : $T = \sqrt[5]{EI/nh}$ (2.31)

Nh = untuk cohesion less soil diperoleh dari Terzaghi, sedangkan untuk normally consolidated clays = 350 s/d 700 KN/m³ dan soft organic silts = 150 KN/m³

E = modulus elastisitas young yang tergantung dari bahan tiang pancang

I = momen inersia dari penampang tiang pancang



Gambar 2. 6 Posisi titik jepit tiang pancang
(Sumber: Wahyudi,2013)

2. Kontrol kuat bahan

Kontrol kekuatan bahan dilakukan dengan mengecek besarnya momen yang terjadi pada tiang pancang harus lebih kecil dari pada tegangan ijin tiang pancang.

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A} + \frac{M}{W} < \sigma_{\text{ijin}} \quad (2.32)$$

3. Kontrol kuat tekuk

Untuk kontrol tekuk terhadap kelangsingan tiang dapat menggunakan rumus:

- Free headed conditions

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{4(Z_f + e)^2} \quad (2.33)$$

- Fixed and translating headed conditions

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(Z_f + e)^2} \quad (2.34)$$

$$P_{\text{aksial}} < P_{cr} \quad (2.35)$$

Dimana :

P_{cr} = daya dukung tiang kritis

e = jarak lateral load dengan muka tanah (m)

Z_f = posisi titik jepit tanah terhadap sebuah tiang (m)

I_{\min} = momen Inersia minimum tiang (m⁴)

4. Kontrol Gaya Horisontal / kuat lateral

$$H_u = \frac{2Mu}{(Z_f + e)} \text{ (Tomlinson)} \quad (2.36)$$

Dimana,

e = jarak lateral load dengan muka tanah

Z_f = Posisi titik jepit tiang dari permukaan tanah

Keterangan :

Nilai Z_f dan H_u dalam formula diatas valid untuk lapisan tanah homogen.

BAB III

PENGUMPULAN DAN ANALISIS DATA

3.1 Umum

Dalam merencanakan detail jetty dermaga TPPI perlu terlebih dahulu dilakukan pengumpulan analisis data. Adapun data-data yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah data sekunder.

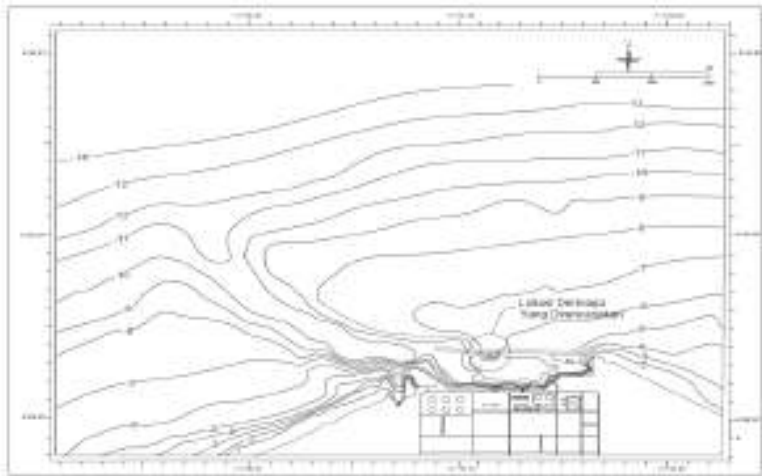
3.2 Data Bathymetri

Dalam tugas akhir ini pengambilan hasil bathymetri tidak dilakukan dengan cara mengukur di lapangan, tetapi dengan cara mengolah data bathymetri. Peta bathymetri dapat dilihat pada **(Gambar 3.1)**



Gambar 3. 1 Peta Bathymetri Dermaga TPPI Tuban, Jawa Timur

Selanjutnya data bathmetri tersebut dianalisis dan dimodelkan dengan menggunakan autocad untuk menggambar hasil kontur kedalaman laut tersebut, sehingga didapatkan hasil yang dapat dilihat pada (**Gambar 3.2**) seperti dibawah ini:

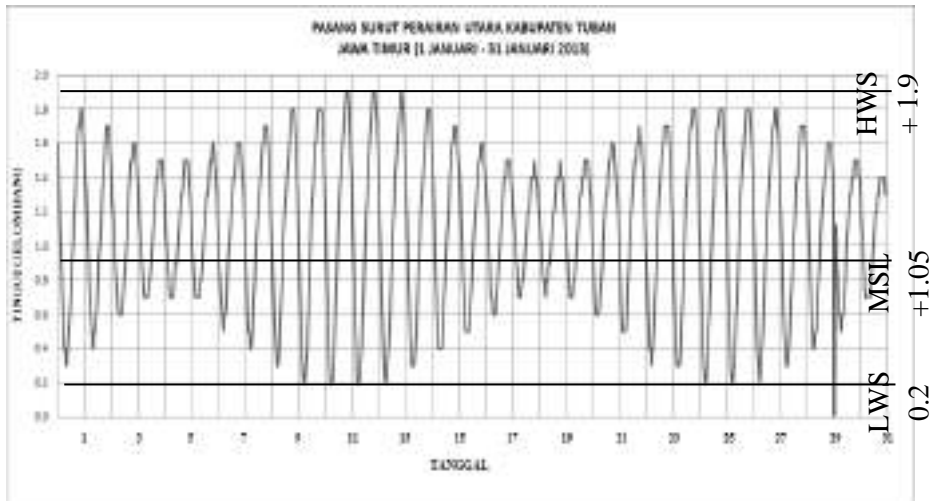


Gambar 3. 2 Permodelan Kontur Dermaga TPPI Tuban

Setelah digambar hasil konturnya dapat dilihat bahwa kondisi kedalaman disekitar wilayah perairan Tuban untuk bagian kolam dermaga memiliki kedalaman rata-rata kontur adalah -10 mLWS.

3.3 Data Pasang Surut

Perilaku pasang surut diambil dari stasiun Karang Jemuang yang memiliki letak geografis $06^{\circ} 55' 50''$ LS dan $112^{\circ} 43' 10''$ BT. Permodelan dari grafk pasang surut dapat dilihat pada (**Gambar 3.3**) sebagai berikut :



Gambar 3. 3 Peta Grafik Pasang Surut

Type pasang surut bersifat harian tunggal berdasarkan analisis (*Diurnal Tide*)

Beda pasang surut 1.7 m diatas LWS

- Elevasi HWS (High Water Spring) pada +1.9 m atau +1.7 di atas LWS
- Elevasi MSL (Mean Sea Level) pada +1.05 m atau 0.85 di atas LWS
- Elevasi LWS (Low Water Spring) pada 0.20 m atau 0.00 di atas LWS

3.4 Data Arus

Data arus yang digunakan dalam tugas akhir kali ini adalah data yang diperoleh dari keterangan orang lapangan. Kecepatan arus yang terjadi cukup rendah sebesar 0.9 m/s. Dari data yang di dapatkan maka diambil kesimpulan arah arus tidak mengganggu navigasi kapal karena kecepatan masih di bawah kecepatan ijin 3 knot (1.5 m/s) dan tidak terjadi *cross current*.

3.5 Data Angin

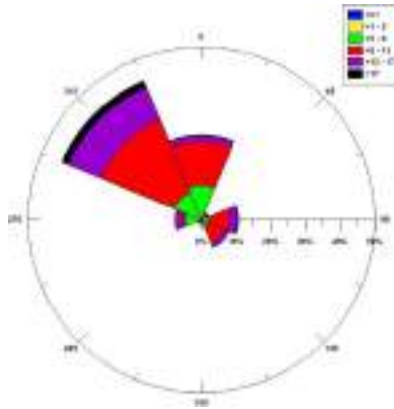
Dalam Tugas Akhir ini pengambilan hasil data angin tidak dilakukan dengan cara mengukur di lapangan, didapatkan informasi data angin dari NOA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*)

Data angin yang digunakan diperoleh adalah data angin tahun 2006 – 2015 pada stasiun Ahmad Yani. Data angin yang dianalisis adalah data magnitude kecepatan dan arah angin maksimum harian dengan selang waktu data selama kurang lebih 10 tahun di ambil station klimatologi terdekat. Data angin terbesar di Pelabuhan TPPI Tuban terjadi pada arah barat laut dapat dilihat pada (**tabel 3.2**) dan *Wind Rose* (**Gambar 3.4**).

Tabel 3. 1 Frekuensi Rata-rata Kejadian Angin di Tuban Th 2006-2015

Persentase Kejadian Angin dalam %									
Kecepatan	Arah Angin								Jumlah
	utara	timur laut	timur	tenggara	selatan	barat daya	barat	barat laut	
1≤	0.11								0.11
1-5	0.11	0.03	0.11	0.14	0.08	0.03	0.05	0.11	0.66
5-9	9.72	0.49	2.05	1.75	0.66	1.04	4.57	8.21	28.50
9-13	12.46	1.34	5.59	5.15	0.30	0.19	0.63	22.81	48.47
13-17	1.83	0.36	2.60	1.20	0.11	0.03	2.14	10.02	18.29
≥17	0.47	0.08	0.47	0.30	0.08	0.03	0.22	2.33	3.97
Jumlah	24.59	2.30	10.82	8.54	1.23	1.31	7.61	43.48	100.00

(*Sumber: National Oceanic and Atmospheric Administration*)



Gambar 3. 4 Windrose Tahun 2006-2015
(Sumber: National Oceanic and Atmospheric Administration)

Namun data angin yang diklasifikasi hanya data angin yang terbesar arah utara, dan timur, karena arah tersebut yang sangat berpengaruh terhadap kapal. Penyajian data angin dapat dilihat dalam bentuk tabel frekuensi kejadian angin (**tabel 3.3**).

Tabel 3. 2 Data Kecepatan Angin Maksimum Tahun 2006 - 201

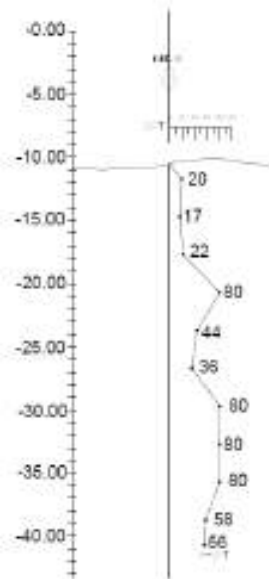
Arah Utara					
Tahun	Bulan	Kec. Max		Arah	
		(Knot)	(m/s)	(°)	Mata Angin
2006	Jul	15.9	8.0	10.0	utara
2007	Jan	50.0	25.0	350.0	utara
2008	Sep	15	7.71	10.0	utara
2009	Feb	48.1	24.0	20.0	utara
2010	Feb	18.1	9.1	20.0	utara
2011	Jan	16.9	8.7	340	utara
2012	Jun	8.0	4.1	340.0	utara
2013	Jan	36.0	18.0	360.0	utara
2014	Ags	17.1	8.6	360.0	utara
2015	Okt	20.0	10.0	10.0	utara

Arah Timur					
Tahun	Bulan	Kec. Max		Arah	
		(Knot)	(m/s)	(°)	Mata Angin
2006	Mei	13.0	6.5	90	timur
2007	Mei	15.0	7.5	110	timur
2008	Apr	40.0	20.0	110	timur
2009	Apr	18.1	9.1	100	timur
2010	Jul	52.9	26.5	110	timur
2011	Mar	16.0	8.0	110	timur
2012	Sep	37.9	19.0	100	timur
2013	Jul	4.1	2.1	80	timur
2014	Des	24.1	12.1	100	timur
2015	Mei	38.1	19.1	70	timur

Dari data angin diatas diketahui bahwa pada arah utara kecepatan angin terbesar pada tahun 2007 bulan Januari sebesar 25m/s, dan arah timur tahun 2010 bulan Juli sebesar 26,5 m/s.

3.6 Data Tanah

Pengeboran dan pengujian tanah diperlukan untuk mengetahui karakteristik dari lapisan tanah, nilai SPT dan daya dukung tanah di daerah tersebut. Pengambilan data tanah pada titik pengeboran dalam disekitar lokasi rencana dermaga, untuk gambar statigrafi tanah BH2 dapat dilihat pada **(Gambar 3.5)**

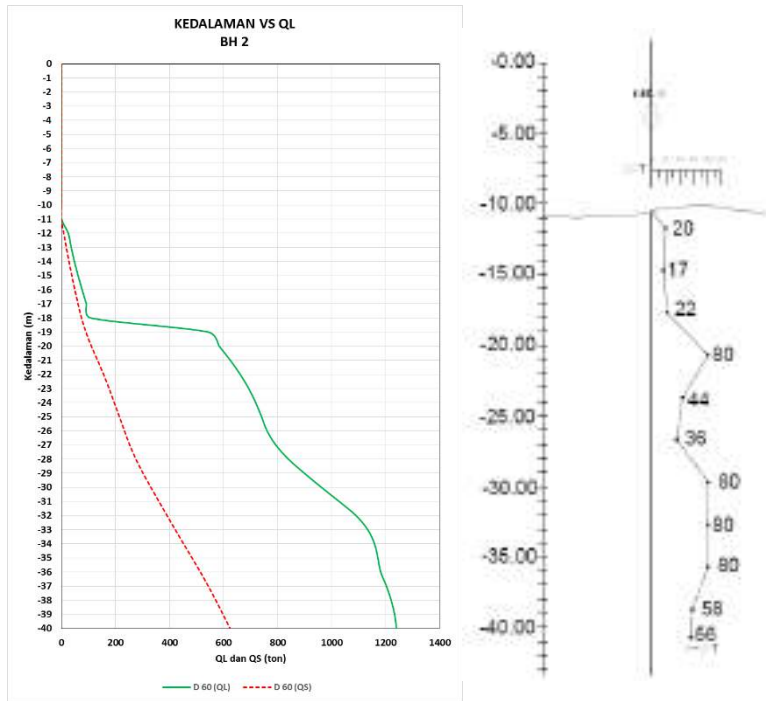


Gambar 3. 5 Gambar Staigrafi Tanah BH2

Hasil Analisa Data Tanah

Kondisi tanah berdasarkan hasil pengeboran menunjukkan bahwa wilayah perairan kabupaten Tuban di dominasi oleh batu kapur (*limestone*) dengan nilai SPT sekitar 20 - 80 di kedalaman - 11m sampai -41m.

Resume hasil uji boring pada titik BH2 menunjukan pada titik BH2 mencapai tanah keras pada kedalaman -30m dengan NSPT80. Untuk daya dukung yang dihasilkan pada titik BH2 dijelaskan dalam grafik kedalaman vs QL, dapat dilihat pada (**Grafik 3.1**)



Grafik 3. 1. Grafik Kedalaman vs QL dan Qs

BAB IV

KRITERIA DESIGN

4.1 Peraturan yang Digunakan

Dalam tugas akhir ini digunakan beberapa peraturan sebagai landasan perencanaan, antara lain :

1. *Technical Standard Port and Harbour Facilities in Japan* (2002). Digunakan untuk merencanakan bollard / boulder dan menghitung energi pada fender.
2. Peraturan Beton Bertulang Indonesia (1971). Dipergunakan untuk perhitungan detail penulangan pada poer, pelat dan balok
3. Peraturan Beton Bertulang Indonesia dengan Cara “n” (1971). Digunakan dalam perencanaan tulangan dengan memakai Perhitungan Lentur Cara “n” (Ir. Wiratman W.)
4. *Port Designer’s Handbook: Recommendations and Guidelines* (Carl A. Thoresen) dipergunakan untuk perhitungan unloading platform, breasting dan mooring dolphin
5. SNI 03-1726-2012 Standart Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung
6. *Harbour Approach Channels Design Guidelines PIANC* (2014). Dipergunakan untuk menentukan ukuran kapal yang akan direncanakan.
7. *Guidelines for the design of fenders systems PIANC* (2002). Dipergunakan untuk perhitungan energi yang terjadi pada fender
8. *Oil Companies International Marine Forum (OCIMF)*
9. *International Safety Guide for Oil Tanker & Terminal (ISGOTT)*

4.2 Kriteria Kapal Rencana

Direncanakan kapal tanker IFO 12.000 DWT lihat (**Gambar 4.1**) dan kapal tanker MDO 11.000 DWT lihat (**Gambar 4.2**) dengan spesifikasi yang disajikan dalam (**tabel 4.1**) dan (**tabel 4.2**) sebagai berikut :



Gambar 4. 1 Kapal Tanker IFO 12.000 DWT

Tabel 4. 1 Spesifikasi Kapal Tanker IFO 12.000 DWT

Dead Weight Tonnage	12.000 DWT
Displacement Tonnage	16.114 ton
Gross Tonnage	6.636 ton
Panjang Kapal (LOA)	144 m
Panjang Perpendicular (LPP)	142.8 m
Lebar Kapal (B)	23 m
Draft Kapal (d)	8.94 m
Tinggi Kapal (D)	11.44 m

(Sumber : Throessen, 2003)



Gambar 4. 2 Kapal Tanker MDO 11.000 DWT

Tabel 4. 2 Spesifikasi Kapal Tanker MDO 11.000 DWT

Dead Weight Tonnage	11.000 DWT
Displacement Tonnage	15.812 ton
Gross Tonnage	6.221 ton
Panjang Kapal (LOA)	142 m
Panjang Perpendicular (LPP)	141.2 m
Lebar Kapal (B)	22.1 m
Draft Kapal (d)	8.2 m
Tinggi Kapal (D)	10.9 m

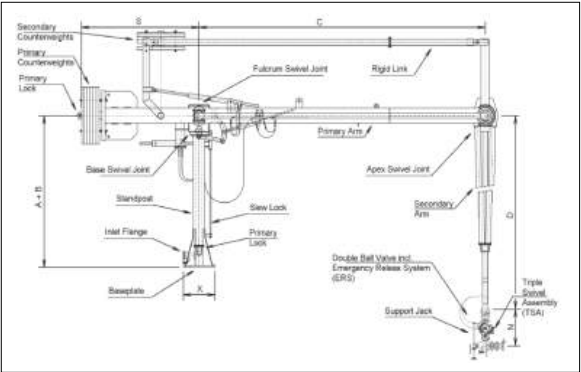
(Sumber : Throessen, 2003)

4.3 Data Alat

Kriteria alat yang digunakan ini untuk dapat mengetahui besar pembebanan yang membebani struktur dermaga.

1. Marine Loading Arm

Marine Loading Arm berfungsi sebagai alat yang digunakan untuk meyalurkan hasil minyak dari kilang menuju kapal. Untuk gambar Marine Loading Arm dapat dilihat pada (**Gambar 4.3**)



Gambar 4. 3 Spesifikasi Marine Loading Arm
(Sumber : Emcowheaton Brosur)

Marine Loading Arm diambil dari Emco Wheaton jenis B0300 dengan ukuran pipa 10”. Direncanakan menggunakan 2 buah pipa, satu pipa untuk menyalurkan hasil minyak IFO dan satu pipa lagi untuk menyalurkan hasil minyak MDO. Untuk spesifikasi *Marine Loading Arm* diambil dari Emco Wheaton jenis B0300 dengan ukuran pipa 10” yang dapat dilihat pada **(tabel 4.3)**.

Tabel 4. 3 Tabel Spesifikasi Pipa Marine Loading Arm

Diameter 10"	
A + B	7000 mm
C	11000 mm
D	9000 mm
N	1750 mm
S	6000 mm
Flow Rate	1700 m3/h
Berat MLA	360 kN
Base Plate	1500 mm

(Sumber : EmcoWeathon)

2. Tower Gangway

Tower Gangway berfungsi untuk masuk atau keluar seseorang dari kapal dan juga sebagai alat keselamatan dalam proses bongkar muat untuk kru. Menggunakan *Tower Gangway* dari Lexxon Equipment jenis LX04 dengan spesifikasi dapat dilihat pada (tabel 4.4)

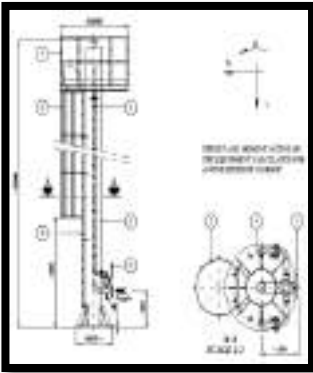


Design Beban	600 kg
Maximal Tekanan Angin	250 N/m ²
Maximal Temperatur	45°
Kapal Maximal	300.000 DWT
Lebar Gangway	800 mm
Tinggi Gangway	20 m
Berat Gangway	27 ton
Base Plate	2 x 2 m

Tabel 4. 4 Spesifikasi Tower Gangway
(Sumber : Lexxonequipment Brosur)

3. Fire Monitor Tower

Fire Monitor Tower berfungsi sebagai alat pemadam disaat terjadi kebakaran dalam proses bongkar muat di dermaga dan dikendalikan secara otomatis secara jarak jauh oleh operator guna untuk keselamatan. Untuk spesifikasi alat dapat dilihat pada (tabel 4.5)

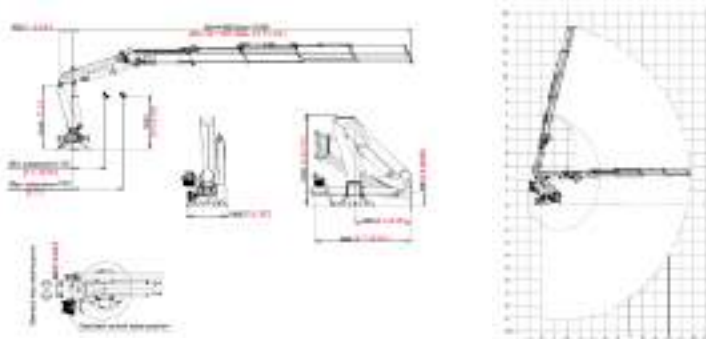


Tinggi Alat	10 m
Berat Alat	167 kg
Diameter Alat	6 inchi
Tekanan Maksimum	12 bar
Diameter Base Plate	0.95 m

Tabel 4. 5 Spesifikasi Fire Monitor Tower
(Sumber : ISO 9001)

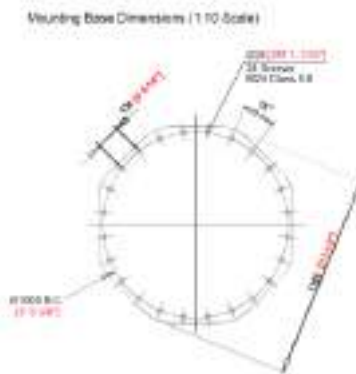
4. Jib Crane

Jib Crane berfungsi untuk mengambil peralatan dari kapal dan untuk mengangkat pipa-pipa yang akan dipasang pada *manifold* kapal. *Jib Crane* yang digunakan jenis *Telescopic Jib Crane*. Untuk spesifikasi *Jib Crane* dapat dilihat pada (**tabel 4.6**) dan pemasangan base plate jib crane dapat dilihat pada (**Gambar 4.4**)



Gross lifting moment	16,05 ton.m
Max lifting dynamic moment	24,19 ton.m
Max hydraulic horizontal outreach	11,7 m
Slewing Angle	409°
Max rotational torque	5,17 ton.m
Weight of standart crane	2,9 ton

Tabel 4. 6 Spesifikasi Jib Crane Slewing
(Sumber :DMW marine group brosur)



Gambar 4. 4 Pemasangan Base Plate Jib Crane
(Sumber :DMW marine group brosur)

4.4 Kualitas Bahan dan Material

4.4.1 Kualitas Bahan Beton

Berdasarkan Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan (*BMS 1992 bagian 6, tabel 6.2*) bangunan dermaga termasuk klasifikasi C (dimana keadaan permukaan bagian komponen dalam air dan terletak dalam lingkungan daerah pasang surut). Dimana beton harus mempunyai kuat tekan karakteristik (σ'_{bk}) tidak kurang dari 35MPa ($\sigma'_{bk} \geq 35\text{MPa}$). Maka dalam perencanaan dermaga untuk curah cair ini digunakan beton dengan $\sigma'_{bk} = 35\text{MPa}$ untuk komponen structural.

Untuk faktor keamanan karena bangunan berada diatas laut, perhitungan kekuatan karakteristik beton dihitung dengan K300, tetapi nanti dalam pelaksanaan tetap memakai K350. Berikut ini data mutu beton:

- Kekuatan karakteristik beton $\sigma'_{bk} = 300 \text{ kg/cm}^2$
- Modulus tekan untuk beban tetap (*PBI 1971 pasal 11.11*)

$$E_b = 6400 \sqrt{300} \text{ kg/cm}^2$$

$$= 1,1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$
- Tegangan tekan beton akibat lentur dan gaya normal (*PBI 1971 pasal 10.4.2*)

$$\sigma'_b = 0,33 \sigma'_{bk}$$

$$= 0,33 \times 300$$

$$= 99 \text{ kg/cm}^2$$
- Berat jenis beton diambil $2,9 \text{ t/m}^3$ (*Sumber : Technical Standard for Port and Harbour in Japan*).
- Tebal selimut beton (decking) diambil dengan ketentuan berikut ini:
 Untuk daerah yang berbatasan langsung dengan air laut
 - Tebal decking untuk pelat 7.0 cm
 - Tebal decking untuk balok 8.0 cm

4.4.2 Kualitas Bahan Baja Tulangan

Untuk tegangan leleh baja dikali kan 40% dari tegangan tarik/putus, sebagai safety factor. Karena pembangunan dilakukan di atas laut, agar tidak gampang terjadi korosi.

Kualitas bahan baja tulangan direncanakan dengan spesifikasi sebagai berikut :

- a. Baja tulangan yang digunakan adalah mutu baja U 32
- b. Tegangan leleh karakteristik

$$\sigma_{au} = 40\% \times 3200 \text{ kg/cm}^2 = 1280 \text{ kg/cm}^2$$

- c. Kekuatan tarik baja rencana

$$\sigma'_{au} = 2780 \text{ kg/cm}^2 \text{ (PBI 1971 pasal 10.4.3)}$$

- d. Modulus elastisitas $E_a = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

4.4.3 Kualitas Bahan Tiang Pancang

Alternatif tiang pancang ada 2 macam yaitu precast pile dan tiang pancang pipa baja (*steel pipe pile*). Dengan memperhatikan faktor keuntungan dan kerugian, serta kedalaman seabed yang cukup dalam (lebih dari 11m) maka dipilih alternatif tiang pancang baja sebagai pondasi tiang pancang dermaga.

Untuk tegangan leleh baja dikali kan 40% dari tegangan tarik/putus, sebagai safety factor. Karena pembangunan dilakukan di atas laut, agar tidak gampang terjadi korosi.

Data tiang pancang diambil dari brosur PT. SPINDO, untuk spesifikasi data tiang pancang sebagai berikut:

Data Tiang Pancang

- Produsen = PT. SPINDO
- Standard = JIS A 5525
- Type = SKK 490
- D1 = 700 mm
- D2 = 672 mm
- Yield Strength (f_y) = $40\% \times 4900$ (f_u) = 1960 kg/cm^2
- Tensile Strength (f_u) = 4900 kg/cm^2

• t	= 14 mm
• A	= 301,70 cm ²
• I	= 176000 cm ⁴
• Z	= 5070 cm ³
• W	= 237 kg/m
• i	= 24,3 cm
• E	= 2100000 kg/cm ²

4.4.4 Desain Dimensi Struktur

Berikut ini adalah desain perencanaan dari dimensi struktur dermaga TPPI Tuban:

1. Catwalk

- a. Catwalk 15 meter

Balok utama	: CHS-200
Balok kerangka	: CHS-100
- b. Catwalk 7,5 meter

Balok utama	: CHS-150
Balok kerangka	: CHS-100

2. Mooring Dolphin

- a. Dimensi Poer : 280 cm x 280 cm
- b. Tebal poer : 100 cm
- c. Tiang pancang : 0,7d
- d. Kemiringan tiang pancang : 6 : 1

3. Breasting Dolphin

- a. Dimensi Poer : 480 cm x 480 cm
- b. Tebal poer : 120 cm
- c. Tiang pancang : 0,7d
- d. Kemiringan tiang pancang : 6 : 1

4. Loading Platform

- | | |
|--------------------|-------------------|
| a. Dimensi | : 240 cm x 180 cm |
| b. Tebal Pelat | : 30 cm |
| c. Balok Melintang | : 60 x 90 cm |
| d. Balok Memanjang | : 60 x 90 cm |

5. Trestle

- | | |
|-----------------------|-------------------|
| a. Panjang trestle | : 28 m |
| b. Lebar trestle | : 6,5 m |
| c. Tebal Poer | : 100 cm |
| d. Poer tiang tunggal | : 120 cm x 120 cm |

4.4.5 Tinggi Struktur

Tinggi stuktur diambil dari titik jepit tiang (*point of fixity*) ke elevasi tertinggi dari struktur dermaga atau trestle (pelat lantai). Perhitungan letak titik jepit tanah terhadap tiang pancang untuk tanah normally consolidated clay & granular soil, digunakan persamaan :

$$Z_f = 1,8 T \rightarrow T = \sqrt[5]{\frac{EI}{nh}}$$

dimana :

E = Modulus Elastisitas

E = $2,1 \times 10^6$ Kg/cm² (Tiang baja)

I = Momen Inersia tiang = $\frac{1}{64} \times \pi \times d^4$

Spesifikasi tiang pancang baja PT.SPINDO ($\phi = 70$ cm, t = 1,4 cm)

$$I = \frac{1}{64} \times \pi \times (\phi^4 - (\phi - 2.t)^4) \text{ cm}^4$$

$$I = \frac{1}{64} \times \pi \times (70^4 - (70 - 2 \times 1,4)^4)$$

$$= 177558,35 \text{ cm}^4$$

n_h = Koefisien modulus variasi tanah

$n_h = 12 \text{ MN/m}^3 = 12000 \text{ KN/m}^3$, untuk submerged soil. (*Terzaghi, dalam Daya Dukung Pondasi Dalam, Herman Wahjudi .1999*)

T = Stiffness Factor

$$T = \sqrt[5]{\frac{2100000 \times 0,00176 \text{ m}^4}{1200000}} = 1,98 \text{ m}$$

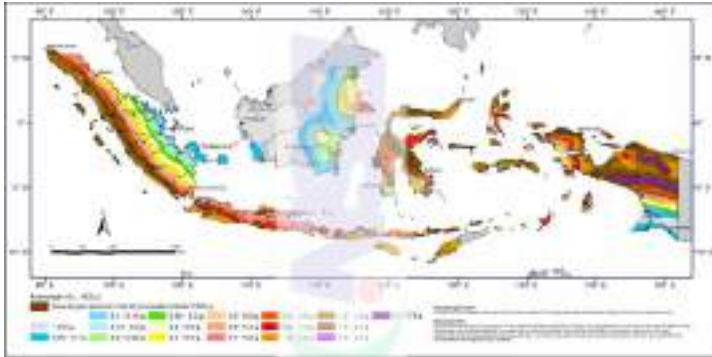
- *Point of Virtual Fixity (Zf)*
 $= 1,8 \times 1,98$
 $= 3,6 \text{ m}$ (dibawah *seabed*)
- Tinggi Struktur (diatas *seabed*)
 $= \text{Kedalaman} + \text{Jarak dari Elevasi Dermaga ke LWS}$
 $= 11 \text{ m} + (1,7 + 1,5) \text{ m}$
 $= 14,2 \text{ m}$
- Tinggi Struktur (dari *Zf*)
 $= 3,6 \text{ m} + 14,2 \text{ m}$
 $= 17,8 \text{ m}$

4.5 Kriteria Pembebanan

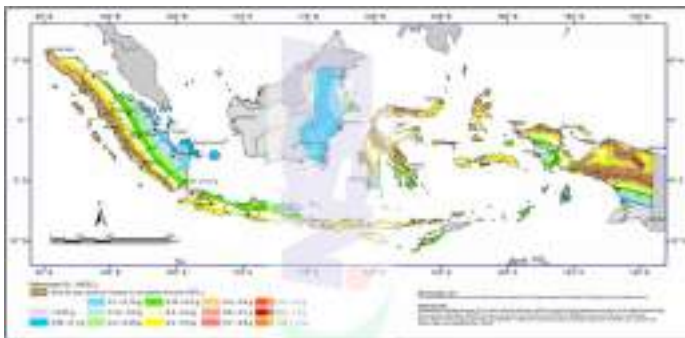
4.5.1 Beban Gempa

Jenis Tanah	= Batuan Keras (SA)
Lokasi	= Kabupaten Tuban
Fungsi Bangunan	= Pelabuhan

1. Menentukan S_s dan S_1 lihat (Gambar 4.5) dan (Gambar 4.6)



Gambar 4. 5 S_s Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertrget (MCE_R) kelas situs SB, SNI 1726 2012



Gambar 4. 6 S_1 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertrget (MCE_R) kelas situs SB, SNI 1726 2012

S_s merupakan parameter percepatan respon spektral pada periode pendek.

S_1 merupakan parameter percepatan respon spektral pada periode 1 detik.

- Berdasarkan peta pada (**Gambar 4.5** dan **Gambar 4.6**) didapatkan:

$$S_s = 0,7$$

$$S_1 = 0,25$$

- Untuk menentukan F_a dan F_v dapat dilihat pada (**tabel 4.7** dan **tabel 4.8**)

Tabel 4. 7 Koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_s) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^(b)				

CATATAN:

- Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
- SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Tabel 4. 8 Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_s terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^(b)				

CATATAN:

- Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier
- SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Didapatkan nilai:

$$F_a = 0,8$$

$$F_v = 0,8$$

- Menentukan nilai S_{MS} dan S_{M1}

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \cdot S_s \\ &= 0,8 \cdot 0,7 \\ &= 0,56 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{M1} &= F_v \cdot S_1 \\ &= 0,8 \cdot 0,25 \\ &= 0,2 \end{aligned}$$

- Menentukan nilai S_{DS} dan S_{D1}

$$\begin{aligned} S_{DS} &= 2/3 \cdot S_{MS} \\ &= 2/3 \cdot 0,56 \\ &= 0,373 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{D1} &= 2/3 \cdot S_{M1} \\ &= 2/3 \cdot 0,2 \\ &= 0,133 \end{aligned}$$

2. Menentukan Nilai T_0 dan T_s

$$\begin{aligned} T_0 &= 0,2 \frac{SD1}{SDS} \\ &= 0,2 \frac{0,133}{0,373} \\ &= 0,071 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= \frac{SD1}{SDS} \\ &= \frac{0,133}{0,373} \\ &= 0,357 \end{aligned}$$

3. Menentukan Nilai S_a

Untuk menentukan nilai s_a terlebih dahulu mencari nilai C_t , dapat dilihat pada (**tabel 4.9**)

Tabel 4. 9 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang dirasakan dan tidak dilindungi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan memotong rangka dan defleksi jika terkena gaya gempa.		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 *	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 *	0,9
Rangka baja dengan bracing diagonal	0,0731 *	0,75
Rangka baja dengan bracing terlakang terhadap beluk	0,0731 *	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 *	0,75

Untuk rangka beton pemikul momen didapatkan:

$$C_t = 0,0466$$

$$x = 0,9$$

$$\begin{aligned} T_a &= C_t \cdot x \cdot H_n \\ &= 0,0466 \cdot 0,9 \cdot 20 \\ &= 0,839 \end{aligned}$$

$$T_0 < T_a < T_s \rightarrow 0,071 < 0,839 > 0,357$$

Maka untuk periode lebih besar dari T_s spektrum respon percepatan desain (S_a) diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{SD1}{T}$$

Dimana T = Periode getar fundamental struktur

$$\begin{aligned} S_a &= \frac{0,133}{0,839} \\ &= 0,159 \end{aligned}$$

4. Menentukan faktor keutamaan bangunan (I)

Dermaga termasuk katagori resiko III, maka didapatkan

$$I = 1,25$$

5. Menghitung faktor reduksi beban gempa (R^a)

Sistem struktur adalah SRPMM dari beton, maka didapatkan
 $R = 5$

6. Menghitung waktu getar (T)

$$T_a = 0,839$$

$$\begin{aligned} C_s \text{ hasil} &= \frac{SD_s}{\frac{R}{T}} \\ &= \frac{0,373}{\frac{5}{1,25}} \\ &= 0,093 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s \text{ maksimum} &= \frac{SD1}{T \cdot \frac{R}{T}} \\ &= \frac{0,133}{0,839 \cdot \frac{5}{1,25}} \\ &= 0,040 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{smin} &= 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I \\ &= 0,044 \cdot 0,373 \cdot 1,25 \\ &= 0,021 > 0,01 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

4.5.2 Pembebanan pada Trestle

a. **Beban Vertikal**

- **Beban Mati**

1. Berat sendiri (2.9 t/m^3)
2. Berat pipa D 10 Steel Grade Code API 5L C-1998. ($100,85 \text{ kg/m}$)

- **Beban Hidup**

1. Beban hidup jetty berupa beban pangkalan yaitu sebesar 2 t/m^3 .
2. Beban air hujan setebal 5 cm. ($0.05 \times 1 = 0.05 \text{ t/m}^2$)

b. **Beban Gempa**

4.5.3 Pembebanan pada Mooring Dolphin

a. **Beban Vertikal**

- **Beban Mati**

Beban mati pada *Mooring Dolphin* berasal dari berat sendiri 2.9 t/m^3 .

- **Beban Hidup**

1. Beban hidup *Mooring Dolphin* sebesar 0.5 t/m^2 .
2. Beban air hujan setebal 5 cm ($0.05 \times 1 = 0.05 \text{ t/m}^2$).
3. Berat bollard (Sesuai dengan spesifikasi bollard)

b. Beban Horisontal

Beban tarikan kapal (besarnya kuat tarik bollard dihitung pada subbab perhitungan bollard)

c. Beban Gempa

4.5.4 Pembebanan pada Loading Platform

a. Beban Vertikal

- **Beban Mati**

Berat sendiri (2.9 t/m^3)

- **Beban mati terbagi rata**

Akibat finishing setebal $t = 5 \text{ cm} = 0,145 \text{ ton/m}^2$

- **Beban Terpusat**

1. Beban marine loading arm tipe B0300 10" ($W = 360 \text{ kN}$)
2. Beban Tower Gangway = 27 ton
3. Beban Fire Monitor Tower = 0,167 ton
4. Beban Jib Crane = 2,9 ton
5. Beban catwalk
6. Berat pipa D10 Steel Grade Code API 5L C-1998. ($100,85 \text{ kg/m}$)
7. Beban gas alam cair yang melalui pipa = $\pi \times r^2 \times \gamma_{\text{gas}}$
 $\text{alam cair} = 3,14 \times 0,625 \times 415 = 814.5 \text{ kg/m}^3$

- **Beban Hidup**

1. Beban loading platform berupa beban pangkalan yaitu sebesar 2 t/m^3 .
2. Beban air hujan setebal 5 cm. ($0.05 \times 1 = 0.05 \text{ t/m}^2$)

b. Beban Gempa

4.5.5 Pembebanan pada Breasting Dolphin

a. Beban Vertikal

- Beban Mati

1. Beban mati pada *Breasting Dolphin* berasal dari berat sendiri 2.9 t/m^3 .
2. Berat fender.

- Beban Hidup

1. Beban hidup *Breasting Dolphin* sebesar 0.5 t/m^3 .
2. Beban air hujan setebal 5 cm ($0.05 \times 1 = 0.05 \text{ t/m}^2$).

b. Beban Horisontal

- Beban tumbukan kapal.

c. Beban Gempa

4.5.6 Pembebanan Catwalk

a. Beban Vertikal

- Beban Mati

Pada struktur *catwalk* beban mati berasal dari berat profil itu sendiri serta beban pelat di atasnya.

- Beban Hidup

Beban hidup untuk *catwalk* dipakai 250 kg/cm^2 .

b. Beban Gempa

4.6 Perencanaan Fender

Fender merupakan system konstruksi yang dipasang di depan konstruksi tambahan. Berfungsi sebagai penahan beban tumbukan kapal pada waktu merapat serta memindahkan beban akibat tumbukan menjadi gaya reaksi yang mampu diterima konstruksi dan kapal secara aman.

4.6.1 Beban Tumbukan dari Kapal

1. Nilai Ef

Berikut ini adalah rumusan dalam mencari energy kinetic yang mengacu pada OCDI 2002 dan PIANC 2002:

$$Ef = C \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot W \cdot V^2 \right) / g [ton - m]$$

$$Ef = C_H \cdot C_E \cdot C_C \cdot C_S \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot W \cdot V^2 \right) / g [ton - m]$$

Ef = Energi kinetic (kNm)

Ws = *Displacement tonnage* (ton)

V = Kecepatan kapal bertambat (m/s)

C_h = Koefisien masa hydrodinamis

C_e = *Eccentricity factor*

C_c = *Berth configuration factor*

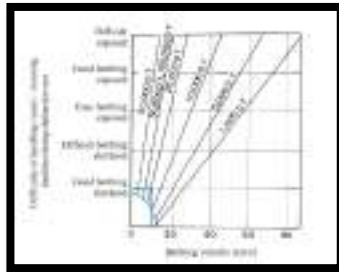
C_s = *Softness factor*

2. Nilai Ws

Merupakan berat total kapal dan muatannya pada saat kapal dimuati sampai garis draft. Kapal yang direncanakan adalah 12.000 DWT maka *displacement tonnage* dari kapal tersebut adalah 16.114 ton.

3. Nilai V

Untuk menentukan besarnya V , kita harus mengetahui keadaan lokasi perencanaan dermaga. Lokasi dermaga direncanakan pada kondisi jelek, tetapi untuk bertambatnya kapal direncanakan dengan cara dipandu.



Grafik 4. 1 Grafik Brething Velocity
(Sumber: OCDI, 2002)

Dari (**Grafik 4.1**) didapatkan kecepatan kapal untuk bertambat 15 cm/s atau 0,15 m/s (dengan dipadu).

4. Nilai C_m = Mass Coefficient (Koefisien Massa Hidrodinamis)

$$C_m = 1 + \frac{\pi D}{2C_b B}$$

Dimana :

C_b = Coefisient Blockkapal tanker 0,85 (Sumber: PIANC 2002)

D = Draft kapal = 8.94 m

B = Lebar kapal = 23 m

Maka,

$$C_h = 1 + \frac{\pi \times 8,94}{2 \times 0,85 \times 23} = 1,72$$

5. Nilai C_e = Koefisien Eccentricity (Koefisien Eksintrisitas)

Koefisien eksintrisitas ditentukan berdasarkan dari posisi kapal yang menumbuk terlebih dahulu.

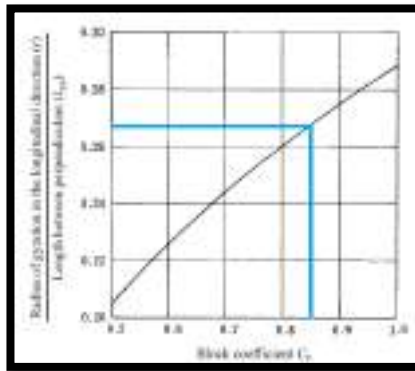
$$C_e = \frac{1}{1 + \left(\frac{l}{r}\right)^2}$$

Dimana :

l = Jarak terpendek antara *center of gravity* kapal sampai ke titik tumbuknya

$$l = 1/3 \times Lo = 1/3 \times 144 = 48 \text{ m}$$

r = Jari – jari perputaran dengan pusat c.g. kapal



Grafik 4. 2 Jari-Jari Girasi Sebagai Fungsi dari Koefisien Blok
(Sumber: *Technical Standard Port and Harbour Facilities in Japan, 1991*)

Harga l dan r dapat diperoleh dari grafik hubungan antara C_b dengan r/L_{oa} . Lihat (**Grafik 4.2**)

Diketahui $C_b = 0,85$, $Lo = 144$ m, lalu diperoleh nilai

$$r/L_{oa} = 0,27$$

Jadi nilai $r = 144 \times 0,27 = 38,8$ m dan $l = 1/3 Lo = 1/3 \times 144 = 48$ m

Maka,

$$C_e = \frac{1}{1 + \left(\frac{48}{38,8}\right)^2} = 0,4$$

6. Nilai C_c = Cushion Coefficient (Koefisien Bantalan)

Koefisien bantalan ditentukan berdasarkan ada tidaknya massa air yang terjepit antara posisi kapal merapat dengan tambatan. Untuk *berth configuration factor* $C_c = 1$ dipilih karena tipe konstruksi yang dipakai adalah jetty tipe lihat (**Gambar 4.7**).

PIANC recommends the following values:

$C_c = 1.0$	<ul style="list-style-type: none"> Open structures including berth corners Berthing angles > 30° Sty low berthing velocities Large unobstructed clearance
$C_c = 0.0$	<ul style="list-style-type: none"> Solid quay structures Berthing angles > 30°

Notes: where the under keel clearance has already been considered for added mass (C_m), the berth configuration coefficient $C_c = 0$ is usually assumed.

Gambar 4. 7 Nilai untuk menentukan C_c
(Sumber : PIANC,2002)

7. Nilai C_s = Softness Coefficient (Koefisien Kehalusan)

Untuk mengantisipasi pengaruh deformasi elastis terhadap badan kapal maupun konstruksi tambatan harga C_s diambil 1,0 lihat (**Gambar 4.8**)

$C_s = 1.0$	Soft fenders ($\delta_s > 150\text{mm}$)
$C_s = 0.9$	Hard fenders ($\delta_s \leq 150\text{mm}$)

Gambar 4. 8 Nilai untuk menentukan C_s
(Sumber : PIANC, 2002)

$$Ef = C_H \cdot C_E \cdot C_C \cdot C_S \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot W \cdot V^2 \right) / g [\text{ton} - m]$$

$$Ef = 1,67 \times 0,4 \times 1 \times 1 \times \left(\frac{1}{2} \times 16.293 \times 0,15^2 \right) / 9,8 [\text{ton} - m]$$

$$Ef = 14,73 \text{ ton-m}$$

8. Kondisi Kapal Merapat Abnormal

Kondisi merapat abnormal terjadi saat energy merapat normal terlampaui, akibat kesalahan manusia, kerusakan kapal, kondisi cuaca ekstrem atau kombinasi berbagai faktor ini. Energy abnormal (E_a) yang harus mampu diserap fender sebesar:

$$E_a = F_s \times E_f$$

Dimana,

E_f = Energi kinetik (kNm)

F_s = Faktor keamanan untuk kapal, F_s yang digunakan adalah kapal *tankers* ukuran besar yaitu 1,75 lihat (**Gambar 4.9**)

PIANC Factors of Safety (F_s)		
Vessel type	Size	F_s
Tanker, bulk, cargo	Largest	1.25
	Smallest	1.75
Container	Largest	1.5
	Smallest	2.0
General cargo		1.75
RoRo, ferries		≥ 2.0
Tugs, workboats, etc		2.0

Gambar 4. 9 Nilai Faktor Keamanan Fender
(Sumber : PIANC, 2002)

Maka,

$$E_a = E_f \times F_s$$

$$E_a = 14,73 \times 1,25$$

$$E_a = 25,78 \text{ ton-m}$$

$$E_a = 257,8 \text{ kNm}$$

4.6.2 Pemilihan Tipe Fender

Dengan didapatkan $E_a = 257,8 \text{ kNm}$. Maka direncanakan menggunakan model fender Super Cone Fender dengan data-data sebagai berikut :

Tipe fender = SCN 800 E 2.3

Energi = 265 kNm

Reaksi = 637 kN

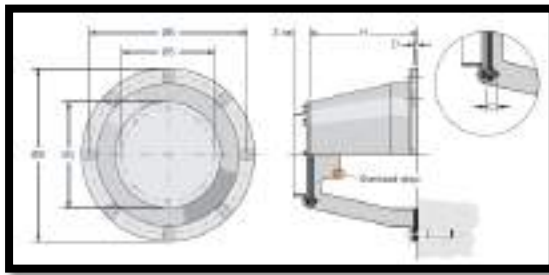
Tabel 4. 10 Super Cone Fenders Performance

		12.1	12.2	12.3	12.4	12.5	12.6	12.7	12.8	12.9	13.0	13.1	13.2	13.3	13.4	13.5	13.6	13.7	13.8	13.9	14.0	14.1	14.2	14.3	14.4	14.5	14.6	14.7	14.8	14.9	15.0	15.1	15.2	15.3	15.4	15.5	15.6	15.7	15.8	15.9	16.0	16.1	16.2	16.3	16.4	16.5	16.6	16.7	16.8	16.9	17.0	17.1	17.2	17.3	17.4	17.5	17.6	17.7	17.8	17.9	18.0	18.1	18.2	18.3	18.4	18.5	18.6	18.7	18.8	18.9	19.0	19.1	19.2	19.3	19.4	19.5	19.6	19.7	19.8	19.9	20.0	20.1	20.2	20.3	20.4	20.5	20.6	20.7	20.8	20.9	21.0	21.1	21.2	21.3	21.4	21.5	21.6	21.7	21.8	21.9	22.0	22.1	22.2	22.3	22.4	22.5	22.6	22.7	22.8	22.9	23.0	23.1	23.2	23.3	23.4	23.5	23.6	23.7	23.8	23.9	24.0	24.1	24.2	24.3	24.4	24.5	24.6	24.7	24.8	24.9	25.0	25.1	25.2	25.3	25.4	25.5	25.6	25.7	25.8	25.9	26.0	26.1	26.2	26.3	26.4	26.5	26.6	26.7	26.8	26.9	27.0	27.1	27.2	27.3	27.4	27.5	27.6	27.7	27.8	27.9	28.0	28.1	28.2	28.3	28.4	28.5	28.6	28.7	28.8	28.9	29.0	29.1	29.2	29.3	29.4	29.5	29.6	29.7	29.8	29.9	30.0	30.1	30.2	30.3	30.4	30.5	30.6	30.7	30.8	30.9	31.0	31.1	31.2	31.3	31.4	31.5	31.6	31.7	31.8	31.9	32.0	32.1	32.2	32.3	32.4	32.5	32.6	32.7	32.8	32.9	33.0	33.1	33.2	33.3	33.4	33.5	33.6	33.7	33.8	33.9	34.0	34.1	34.2	34.3	34.4	34.5	34.6	34.7	34.8	34.9	35.0	35.1	35.2	35.3	35.4	35.5	35.6	35.7	35.8	35.9	36.0	36.1	36.2	36.3	36.4	36.5	36.6	36.7	36.8	36.9	37.0	37.1	37.2	37.3	37.4	37.5	37.6	37.7	37.8	37.9	38.0	38.1	38.2	38.3	38.4	38.5	38.6	38.7	38.8	38.9	39.0	39.1	39.2	39.3	39.4	39.5	39.6	39.7	39.8	39.9	40.0	40.1	40.2	40.3	40.4	40.5	40.6	40.7	40.8	40.9	41.0	41.1	41.2	41.3	41.4	41.5	41.6	41.7	41.8	41.9	42.0	42.1	42.2	42.3	42.4	42.5	42.6	42.7	42.8	42.9	43.0	43.1	43.2	43.3	43.4	43.5	43.6	43.7	43.8	43.9	44.0	44.1	44.2	44.3	44.4	44.5	44.6	44.7	44.8	44.9	45.0	45.1	45.2	45.3	45.4	45.5	45.6	45.7	45.8	45.9	46.0	46.1	46.2	46.3	46.4	46.5	46.6	46.7	46.8	46.9	47.0	47.1	47.2	47.3	47.4	47.5	47.6	47.7	47.8	47.9	48.0	48.1	48.2	48.3	48.4	48.5	48.6	48.7	48.8	48.9	49.0	49.1	49.2	49.3	49.4	49.5	49.6	49.7	49.8	49.9	50.0	50.1	50.2	50.3	50.4	50.5	50.6	50.7	50.8	50.9	51.0	51.1	51.2	51.3	51.4	51.5	51.6	51.7	51.8	51.9	52.0	52.1	52.2	52.3	52.4	52.5	52.6	52.7	52.8	52.9	53.0	53.1	53.2	53.3	53.4	53.5	53.6	53.7	53.8	53.9	54.0	54.1	54.2	54.3	54.4	54.5	54.6	54.7	54.8	54.9	55.0	55.1	55.2	55.3	55.4	55.5	55.6	55.7	55.8	55.9	56.0	56.1	56.2	56.3	56.4	56.5	56.6	56.7	56.8	56.9	57.0	57.1	57.2	57.3	57.4	57.5	57.6	57.7	57.8	57.9	58.0	58.1	58.2	58.3	58.4	58.5	58.6	58.7	58.8	58.9	59.0	59.1	59.2	59.3	59.4	59.5	59.6	59.7	59.8	59.9	60.0	60.1	60.2	60.3	60.4	60.5	60.6	60.7	60.8	60.9	61.0	61.1	61.2	61.3	61.4	61.5	61.6	61.7	61.8	61.9	62.0	62.1	62.2	62.3	62.4	62.5	62.6	62.7	62.8	62.9	63.0	63.1	63.2	63.3	63.4	63.5	63.6	63.7	63.8	63.9	64.0	64.1	64.2	64.3	64.4	64.5	64.6	64.7	64.8	64.9	65.0	65.1	65.2	65.3	65.4	65.5	65.6	65.7	65.8	65.9	66.0	66.1	66.2	66.3	66.4	66.5	66.6	66.7	66.8	66.9	67.0	67.1	67.2	67.3	67.4	67.5	67.6	67.7	67.8	67.9	68.0	68.1	68.2	68.3	68.4	68.5	68.6	68.7	68.8	68.9	69.0	69.1	69.2	69.3	69.4	69.5	69.6	69.7	69.8	69.9	70.0	70.1	70.2	70.3	70.4	70.5	70.6	70.7	70.8	70.9	71.0	71.1	71.2	71.3	71.4	71.5	71.6	71.7	71.8	71.9	72.0	72.1	72.2	72.3	72.4	72.5	72.6	72.7	72.8	72.9	73.0	73.1	73.2	73.3	73.4	73.5	73.6	73.7	73.8	73.9	74.0	74.1	74.2	74.3	74.4	74.5	74.6	74.7	74.8	74.9	75.0	75.1	75.2	75.3	75.4	75.5	75.6	75.7	75.8	75.9	76.0	76.1	76.2	76.3	76.4	76.5	76.6	76.7	76.8	76.9	77.0	77.1	77.2	77.3	77.4	77.5	77.6	77.7	77.8	77.9	78.0	78.1	78.2	78.3	78.4	78.5	78.6	78.7	78.8	78.9	79.0	79.1	79.2	79.3	79.4	79.5	79.6	79.7	79.8	79.9	80.0	80.1	80.2	80.3	80.4	80.5	80.6	80.7	80.8	80.9	81.0	81.1	81.2	81.3	81.4	81.5	81.6	81.7	81.8	81.9	82.0	82.1	82.2	82.3	82.4	82.5	82.6	82.7	82.8	82.9	83.0	83.1	83.2	83.3	83.4	83.5	83.6	83.7	83.8	83.9	84.0	84.1	84.2	84.3	84.4	84.5	84.6	84.7	84.8	84.9	85.0	85.1	85.2	85.3	85.4	85.5	85.6	85.7	85.8	85.9	86.0	86.1	86.2	86.3	86.4	86.5	86.6	86.7	86.8	86.9	87.0	87.1	87.2	87.3	87.4	87.5	87.6	87.7	87.8	87.9	88.0	88.1	88.2	88.3	88.4	88.5	88.6	88.7	88.8	88.9	89.0	89.1	89.2	89.3	89.4	89.5	89.6	89.7	89.8	89.9	90.0	90.1	90.2	90.3	90.4	90.5	90.6	90.7	90.8	90.9	91.0	91.1	91.2	91.3	91.4	91.5	91.6	91.7	91.8	91.9	92.0	92.1	92.2	92.3	92.4	92.5	92.6	92.7	92.8	92.9	93.0	93.1	93.2	93.3	93.4	93.5	93.6	93.7	93.8	93.9	94.0	94.1	94.2	94.3	94.4	94.5	94.6	94.7	94.8	94.9	95.0	95.1	95.2	95.3	95.4	95.5	95.6	95.7	95.8	95.9	96.0	96.1	96.2	96.3	96.4	96.5	96.6	96.7	96.8	96.9	97.0	97.1	97.2	97.3	97.4	97.5	97.6	97.7	97.8	97.9	98.0	98.1	98.2	98.3	98.4	98.5	98.6	98.7	98.8	98.9	99.0	99.1	99.2	99.3	99.4	99.5	99.6	99.7	99.8	99.9	100.0	100.1	100.2	100.3	100.4	100.5	100.6	100.7	100.8	100.9	101.0	101.1	101.2	101.3	101.4	101.5	101.6	101.7	101.8	101.9	102.0	102.1	102.2	102.3	102.4	102.5	102.6	102.7	102.8	102.9	103.0	103.1	103.2	103.3	103.4	103.5	103.6	103.7	103.8	103.9	104.0	104.1	104.2	104.3	104.4	104.5	104.6	104.7	104.8	104.9	105.0	105.1	105.2	105.3	105.4	105.5	105.6	105.7	105.8	105.9	106.0	106.1	106.2	106.3	106.4	106.5	106.6	106.7	106.8	106.9	107.0	107.1	107.2	107.3	107.4	107.5	107.6	107.7	107.8	107.9	108.0	108.1	108.2	108.3	108.4	108.5	108.6	108.7	108.8	108.9	109.0	109.1	109.2	109.3	109.4	109.5	109.6	109.7	109.8	109.9	110.0	110.1	110.2	110.3	110.4	110.5	110.6	110.7	110.8	110.9	111.0	111.1	111.2	111.3	111.4	111.5	111.6	111.7	111.8	111.9	112.0	112.1	112.2	112.3	112.4	112.5	112.6	112.7	112.8	112.9	113.0	113.1	113.2	113.3	113.4	113.5	113.6	113.7	113.8	113.9	114.0	114.1	114.2	114.3	114.4	114.5	114.6	114.7	114.8	114.9	115.0	115.1	115.2	115.3	115.4	115.5	115.6	115.7	115.8	115.9	116.0	116.1	116.2	116.3	116.4	116.5	116.6	116.7	116.8	116.9	117.0	117.1	117.2	117.3	117.4	117.5	117.6	117.7	117.8	117.9	118.0	118.1	118.2	118.3	118.4	118.5	118.6	118.7	118.8	118.9	119.0	119.1	119.2	119.3	119.4	119.5	119.6	119.7	119.8	119.9	120.0	120.1	120.2	120.3	120.4	120.5	120.6	120.7	120.8	120.9	121.0	121.1	121.2	121.3	121.4	121.5	121.6	121.7	121.8	121.9	122.0	122.1	122.2	122.3	122.4	122.5	122.6	122.7	122.8	122.9	123.0	123.1	123.2	123.3	123.4	123.5	123.6	123.7	123.8	123.9	124.0	124.1	124.2	124.3	124.4	124.5	124.6	124.7	124.8	124.9	125.0	125.1	125.2	125.3	125.4	125.5	125.6	125.7	125.8	125.9	126.0	126.1	126.2	126.3	126.4	126.5	126.6	126.7	126.8	126.9	127.0	127.1	127.2	127.3	127.4	127.5	127.6	127.7	127.8	127.9	128.0	128.1	128.2	128.3	128.4	128.5	128.6	128.7	128.8	128.9	129.0	129.1	129.2	129.3	129.4	129.5	129.6	129.7	129.8	129.9	130.0	130.1	130.2	130.3	130.4	130.5	130.6	130.7	130.8	130.9	131.0	131.1	131.2	131.3	131.4	131.5	131.6	131.7	131.8	131.9	132.0	132.1	132.2	132.3	132.4	132.5	132.6	132.7	132.8	132.9	133.0	133.1	133.2	133.3	133.4	133.5	133.6	133.7	133.8	133.9	134.0	134.1	134.2	134.3	134.4	134.5	134.6	134.7	134.8	134.9	135.0	135.1	135.2	135.3	135.4	135.5	135.6	135.7	135.8	135.9	136.0	136.1	136.2	136.3	136.4	136.5	136.6	136.7	136.8	136.9	137.0	137.1	137.2	137.3	137.4	137.5	137.6	137.7	137.8	137.9	138.0	138.1	138.2	138.3	138.4	138.5	138.6	138.7	138.8	138.9	139.0	139.1	139.2	139.3	139.4	139.5	139.6	139.7	139.8	139.9	140.0	140.1	140.2	140.3	140.4	140.5	140.6	140.7	140.8	140.9	141.0	141.1	141.2	141.3	141.4	141.5	141.6	141.7	141.8	141.9	142.0	142.1	142.2	142.3	142.4	142.5	142.6	142.7	142.8	142.9	143.0	143.1	143.2	143.3	143.4	143.5	143.6	143.7	143.8	143.9	144.0	144.1	144.2	144.3	144.4	144.5
--	--	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Untuk dimensi fender SCN dapat dilihat pada (**tabel 4.11**) dan gambar detail fender SCN dapat dilihat pada (**Gambar 4.10**).

Tabel 4. 11 Super Cone Fenders Dimensions

DIMENSI SCN 800					
H	ØW	V	ØU	C	D
900 mm	1280 mm	-	785 mm	40-52 mm	35-42 mm
ØB	ØS	Anchors	Zmin	Weight	
1165 mm	685 mm	6 x M30	120 mm	606 kg	



Gambar 4. 10 Dimensi Fender SCN
(Sumber: Trelleborg Catalog)

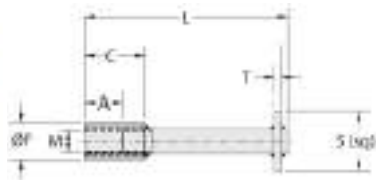
4.6.3 Aksesoris Fender

Dalam pemasangan fender dengan tipe SCN , dibutuhkan beberapa aksesoris pendukung, antara lain :

a. Anchor bolt

Aksesoris ini berfungsi sebagai mengaitkan fender dengan beton. Anchor bolt yang dipergunakan dalam perencanaan ini menggunakan NC3 Anchors yang memiliki soket berulir, ekor panjang dan jangkar piring persegi. Detail anchor bolt dapat dilihat pada (**Gambar 4.11**) dan (**tabel 4.12**)

request.



Gambar 4. 11 NC3 Anchors
(Sumber : Fender system v1.1 trelleborg)

Tabel 4. 12 Spesifikasi NC3 Anchors

Thorax	ø	L	ØF	L	S (mm)	T	Weight
M20	40	60	30	300	60	20	1
M22	44	65	32	325	65	20	1
M24	48	70	36	350	70	20	2
M27	52	84	40	380	75	20	2
M30	60	95	45	410	100	20	4
M36	72	112	54	480	100	22	6
M42	84	134	65	580	100	22	8
M48	96	160	72	690	100	23	12
M54	112	180	84	850	120	25	20
M64	126	200	90	900	130	25	30
M70	152	240	104	1100	150	25	46

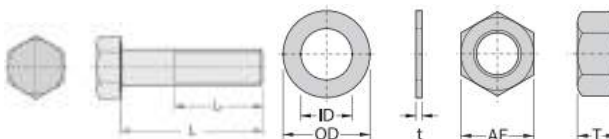
Anchors available in mild steel, 1634, SS 316 or super duplex

(units: mm, kg)

(Sumber : Fender system v1.1 trelleborg)

b. Bolts, Nuts and Washers

Berfungsi sebagai pengekang dari anchors. Spesifikasi dan gambar dapat dilihat pada (**Gambar 4.12**) dan (**tabel 4.13**).



Gambar 4. 12 Bolts, Nuts and Washers
(Sumber : Fender system v1.1 trelleborg)

Tabel 4. 13 Spesifikasi Bolts, Nuts and Washers

Size	Thread area 1 mm ²	Washers			Nuts		Special thread lengths		Thread pitch
		GO	IS	I	M ²	T	L=125	L=150	
M16	157	38	38	3	24	13	38	44	2.0
M20	245	51	52	4	33	16	48	52	2.5
M24	353	64	65	4	39	19	74	80	3.0
M27	489	82	83	4	41	22	80	86	3.0
M30	581	96	97	4	45	24	95	102	3.0
M36	887	116	119	5	55	28	120	128	4.0
M42	1120	136	140	7	65	34	150	160	4.5
M48	1470	161	165	8	75	38	165	176	5.0
M56	2020	225	230	9	90	45	198	210	5.5
M64	2680	255	261	9	105	53	234	248	6.0

¹ According to BS 5682: Table 13.

² Standard washers given. L125-150 washers available on request.

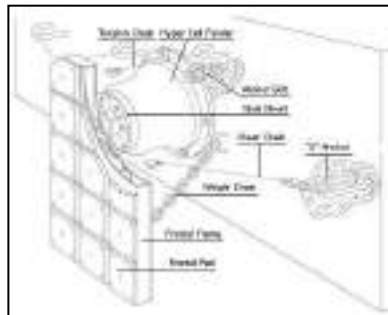
³ Thread lengths may vary depending on standard. Other lengths available.

(Metric mm)

(Sumber : Fender system v1.1 trelleborg)

4.6.4 Perencanaan Panel Fender

Pada fender SCN ini perlu dipasang panel/frontal pad lihat (**Gambar 4.13**), untuk mengamankan badan kapal ketika menumbuk fender karena luas bidang sentuh fender SCN relatif kecil sehingga dikhawatirkan dapat merobek badan kapal.



Gambar 4. 13 Pemasangan Frontal Pad
(Sumber: Trelleborg Catalog)

Perencanaan dimensi frontal pad dapat dihitung dengan rumus:

$$P = \frac{\sum R}{W_2 H_2} \leq P_p$$

Dimana :

P = Tekanan kontak lambung kapal (Kn/m³)

ΣR = Reaksi maksimum fender (kN) = 637 kN

W = Lebar panel (m) = 1,5 m

H = Tinggi panel (m) = 2 m

Pp = Tekanan kontak izin (Kn/m³) lihat (**tabel 4.14**)

Tabel 4. 14 Nilai Untuk Menentukan Tekanan Kontak Izin

Vessel type	Size/class	Hull pressure (kN/m ²)
Container ships	< 1000 teu (1st/2nd generation)	< 400
	< 3000 teu (3rd generation)	< 300
	< 8000 teu (4th generation)	< 250
	> 8000 teu (5th/6th generation)	< 200
General cargo	≤ 20000 DWT	400–700
	> 20000 DWT	< 400
Oil tankers	≤ 20000 DWT	< 250
	> 20000 DWT	< 200
	> 60000 DWT	150–200
Gas carriers	LNG/LPG	< 200
Bulk carriers		< 200
RoRo Passenger/cruise SWATH		Usually fitted with beltings (strakes)

Source: PIANC 2002; Table 4.4.1

(Sumber: PIANC 2002)

Maka,

$$P = \frac{\sum R}{W_2 H_2} \leq P_p$$

$$P = \frac{637}{1.5 \times 2} \leq 250$$

$$P = 212,3 \frac{kN}{m^3} \leq 250 \text{ kN/m}^3$$

Jadi kesimpulannya, panel fender ukuran 1,5m x 2m aman dan dapat digunakan.

4.7 Perencanaan Bollard

4.7.1 Gaya Akibat Tarikan Kapal

Untuk menentukan gaya tarikan kapal dapat dilihat pada (tabel 4.15).

Tabel 4. 15 Nilai MBL Untuk Menentukan Gaya Tarikan Kapal

Number of Winches	Nominal Size (ton)	Drum Load (kN)	Holding Load (kN)	Design Rope dia (mm)	MBL (kN)	Approximate Ship Size Range, Tons deadweight	
						Conventional Ships, Tanker, Bulkcarriers, etc	Special Ships, Large Wind area, Container, Passenger, etc.
4	12	120	310	26	378	8000	5000
4	16	160	470	32	573	15000	8000
6	16	160	470	32	572	25000	12000
6	20	200	590	36	725	35000	20000
6	25	250	730	40	895	50000	30000
6	32	315	880	44	1080	65000	45000
6	40	400	1050	48	1290	80000	60000
6	50	500	1280	51	1590	110000	85000
6	64	640	1560	57	1980	150000	120000
6	80	800	1940	64	2420	210000	
6	100	1000	2430	77	3400	300000	

(Sumber : *Advances in Brething and Mooring of Ships and Offshore Structure*)

Kapal yang digunakan adalah kapal tanker 12.000 DWT. Oleh karena itu digunakan rumus interpolasi untuk mendapatkan nilai MBL dari kapal tanker 12.000 DWT, didapatkan nilai MBL 462 kN

Nilai tersebut harus dibandingkan dengan gaya tarik kapal akibat tekanan arus dan angin, kemudian dipilih yang terbesar untuk perencanaan bollard. Berikut ini perhitungan gaya tarik kapal akibat arus dan angin.

4.7.2 Gaya Akibat Tarikan Arus

$$P_C = \frac{C_C \times \gamma_w \times A_C \times V_C^2}{2g}$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 \gamma_w &= \text{Berat jenis air laut } (=10,34 \text{ kN/m}^3) \\
 A_C &= \text{Luasan melintang kapal di bawah permukaan air,} \\
 &\quad \text{karena arus cenderung sejajar sumbu kapal.} \\
 &= \text{lebar} \times \text{draft}_{\max} = 23 \times 8,94 = 205,62 \text{ m}^2 \\
 V_C &= \text{Kecepatan arus dalam arah tegak lurus kapal (m/s)} \\
 &= 0,95 \text{ m/s} \\
 C_C &= \text{Koefisien arus} \\
 &= 1,5 \text{ (arah tegak lurus kapal)} \\
 &= 0,6 \text{ (arah arus sejajar kapal)} \\
 g &= \text{Gravitasi (m/s}^2) = 9,81 \text{ m/s}^2
 \end{aligned}$$

Maka besarnya gaya tarik akibat arus:

$$\begin{aligned}
 P_{C1} &= \frac{1,5 \times 10,34 \times 205,62 \times 0,95^2}{2 \times 9,8} \\
 &= \mathbf{146,8 \text{ kN}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{C2} &= \frac{0,6 \times 10,34 \times 205,62 \times 0,95^2}{2 \times 9,8} \\
 &= \mathbf{58,74 \text{ kN}}
 \end{aligned}$$

4.7.3 Gaya Akibat Tarikan Angin

$$P_w = C_w \left(A_w \sin \phi \sin \phi + B_w \cos \phi \cos \phi \right) \frac{V_w^2}{1600}$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 P_w &= \text{Tekanan angin pada kapal yang bertambat} \\
 C_w &= \text{Koefisien tekanan angin} \\
 &= 1,3 \text{ (angin melintang)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,9 \text{ (angin memanjang)} \\
A_w &= \text{Luasan proyeksi arah memanjang, di atas air} \\
&= \text{panjang kapal} \times (\text{depth} - \text{draft}) \\
&= 144 \times (11 - 8,94) \\
&= 296,64 \text{ m}^2 \\
B_w &= \text{Luasan proyeksi arah muka (m}^2\text{)} \\
&= (\text{depth-draft}) \times \text{lebar kapal} \\
&= (11 - 8,94) \times 23 \\
&= 47,38 \text{ m}^2 \\
\phi &= 90^\circ \text{ (melintang)} ; 0^\circ \text{ (memanjang)} \\
V_w &= \text{Kecepatan angin (m/s)} \\
\text{Kecepatan angin arah memanjang} &= 26,5 \text{ m/s} \\
\text{Kecepatan angin arah melintang} &= 25 \text{ m/s}
\end{aligned}$$

Maka besarnya gaya tarik akibat angin:

$$\begin{aligned}
P_{w1} &= 1,3 \times (296,64 \sin 90^\circ \sin 90^\circ + 47,38 \cos 90^\circ \cos 90^\circ) \times \frac{25^2}{1600} \\
&= \mathbf{150,6 \text{ kN}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{w2} &= 0,9 \times (296,64 \sin 0^\circ \sin 0^\circ + 47,38 \cos 0^\circ \cos 0^\circ) \times \frac{26,5^2}{1600} \\
&= \mathbf{18,7 \text{ kN}}
\end{aligned}$$

4.7.4 Gaya Tarik Bollard

Dari perhitungan diatas gaya tarik masing-masing dikombinasikan sesuai dengan arahnya, total beban akibat angin + arus:

$$\begin{aligned}
\text{Gaya tarik akibat kapal} &= 462 \text{ kN} \\
\text{Gaya tarik arah memanjang} &= P_{c2} + P_{w2} \\
&= 58,74 + 18,7 = 77,4 \text{ kN} \\
\text{Gaya tarik arah melintang} &= P_{c1} + P_{w1} \\
&= 146,8 + 150,6 = 297,4 \text{ kN}
\end{aligned}$$

4.7.5 Pemilihan Tipe Bollard

Dalam dermaga oil&gas disarankan untuk menggunakan bollard QRH, dipilih QRH dengan 2 hook. Untuk menentukan spesifikasi bollard kita harus menghitung *Safe Working Load* (SWL) terlebih dahulu.

$SWL = 58\% \times MBL$, dengan $MBL = 462 \text{ kN}$

$SWL = 58\% \times 462 = 267,96 \text{ kN}$

Proof load (PL) = $1,5 \times SWL = 401,94 \text{ kN}$

QRH minimum capacity = $1,3 \times PL = 522,52 \text{ kN}$

Berikut ini adalah spesifikasi bollard yang dapat dilihat pada **(tabel 4.16)**.

Tabel 4. 16 Spesifikasi Bollard

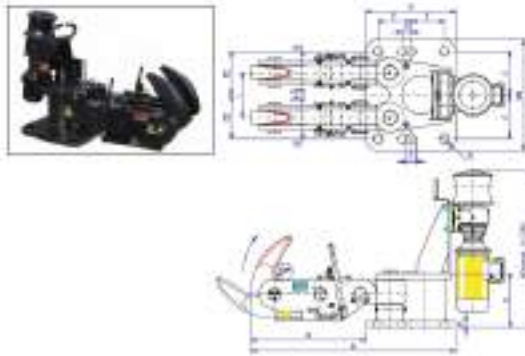
Type MHC	Dimensions in millimeters															
	S.W.L	Cap.	Wt.	A	B	BB	C	D	E	EE	F	G	H	K	R	X
040.402	400	800	491	583	650	700	260	54	235	260	35	370	1233	96	90	6xM48
060.402	600	1200	878	788	750	780	290	62	275	290	45	407	1536	130	100	6xM56
075.402	750	1500	1049	888	750	850	325	70	275	325	45	417	1638	130	100	6xM64
100.402	1000	2000	1439	959	750	925	363	78	275	363	50	447	1709	150	100	6xM72
125.402	1250	2500	1602	1030	750	925	363	86	275	363	55	479	1780	150	100	6xM80
150.402	1500	3000	2332	1210	750	1000	400	86	275	400	55	499	1960	150	100	7xM80

Above details for information only

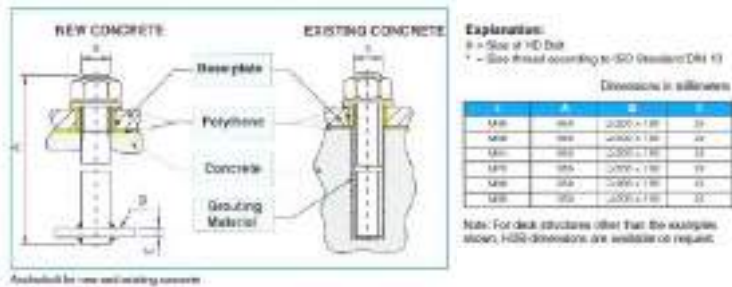
(Sumber : Mampaey Bollard)

Maka gaya tarik bollard diambil yang terbesar akibat kapal mempunyai nilai yaitu 800 kN

Untuk detail penampang bollard QRH 2 hook dapat dilihat pada **(Gambar 4.14)** dan gambar baut bollard dapat dilihat pada **(Gambar 4.15)**.



Gambar 4. 14 Detail Penampang Double Hook Bollard
(Sumer: *Quick Release Hooks Mampaey*)



Gambar 4. 15 Detail Baut Bollard
(Sumer: *Quick Release Hooks Mampaey*)

BAB V

PERENCANAAN LAYOUT

5.1 Umum

Perencanaan layout dermaga TPPI ini harus direncanakan dengan tepat sesuai dengan kebutuhan. Dermaga sendiri harus memiliki dimensi yang cukup guna melayani keperluan bongkar muat kapal yang baik, seperti ketinggian elevasi dermaga untuk mengantisipasi terjadinya banjir ketika air meluap serta kedalaman dan jarak *dolphin* harus sesuai dengan standart. Oleh karena itu perencanaan layout sangat penting guna menentukan apakah perencanaan dermaga yang dilakukan sudah sesuai dengan standart yang ada.

5.2 Perencanaan Layout Perairan dan Dermaga

5.2.1 Perencanaan Layout Perairan

Kriteria kapal tanker di ambil yang terbesar yang didapatkan dari data *Thoresen* direncanakan untuk menggunakan dermaga adalah sebagai berikut:

1. Bobot (DWT) : 12.000 DWT
2. Panjang (LOA) : 144 meter
3. Lebar (B) : 23 meter
4. Draft : 8.94 meter

A. Kebutuhan area penjangkaran (*Anchorage Area*)

Area penjangkaran diasumsikan berada pada kondisi perairan baik. Maka berdasarkan KM 54 Tahun 2002 menggunakan rumus sebagai berikut:

$$R = LOA + 6d$$

$$d = \text{kedalaman perairan}$$

$$R = 144 + (6 \times 15) = 233.7 \text{ m} \approx 235 \text{ m}$$

Untuk kedalaman *anchorage area*, sebagai berikut:

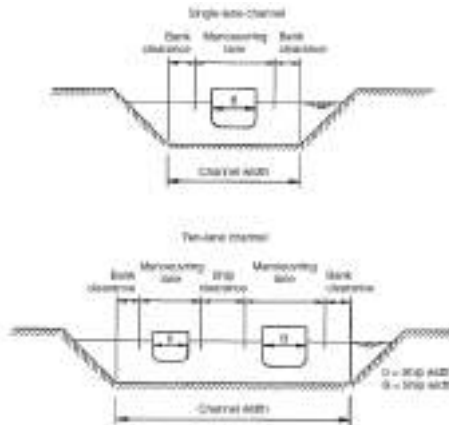
$$D = 1.5 \times \text{Draft}$$

$$= 1.5 \times 8.94 = 13.41 \approx 14 \text{ m}$$

B. Kebutuhan alur masuk (*Entrance Channel*)

1. Dalam merencanakan lebar alur masuk, perlu diperhatikan juga kondisi perairan yang ada. Untuk lebar perairan mencapai 370 m dan merupakan perairan dengan aktifitas kapal yang sibuk. Maka direncanakan alur untuk dua jalur kapal.

Perencanaan lebar alur masuk, mengacu kepada Port Designer Handbook, Throesen, 2014 dimana untuk lebar alur dengan dua jalur dibagi menjadi tiga zona yaitu *maneuvering lane*, *bank clearance*, dan *ship clearance*. Lihat (**Gambar 5.1**)



Gambar 5. 1 Lebar Alur Masuk Kapal

(Sumber: Thoressen, 2003)

Adapun rumus untuk mencari lebar masing-masing zona adalah sebagai berikut:

$$\text{Maneuvering Lane} = 1.6 \times B = 1.6 \times 23 = 36.8 \text{ m}$$

$$\text{Bank Clearance} = 1 \times B = 1 \times 23 = 23 \text{ m}$$

$$\text{Ship Clearance} = 30 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Total lebar alur masuk} &= (2 \times 36.8) + (2 \times 23) + 30 \\ &= 149.6 \approx 150 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Panjang alur masuk (*Stopping Distance*)

Untuk kapal ± 10.000 DWT, 16 knots, panjang alur (stopping distance) menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Sd \text{ min} &= 7 \times LOA \\ &= 7 \times 144 = 1008 \text{ m} \end{aligned}$$

3. Kedalaman alur masuk

Direncanakan kedalaman kapal di depan dermaga dengan perairan tidak tenang

$$\begin{aligned} D &= 1.2 \times \text{Draft} \\ &= 1.2 \times 8.94 = 10.734 \text{ m} \approx 11 \text{ m} \end{aligned}$$

C. Kebutuhan kolam putar (*Turning Basin*)

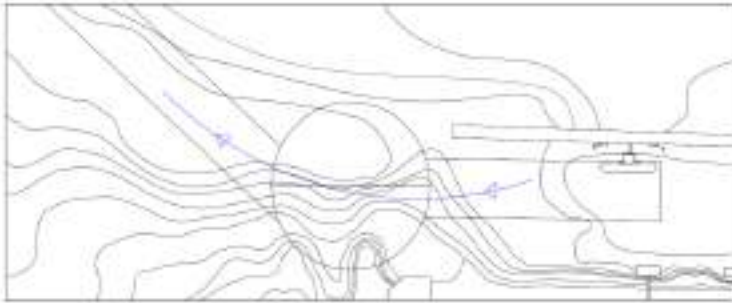
Kolam putar direncanakan berada disepanjang alur masuk, disamping dermaga dan kapal bermanuver dengan di pandu. Maka berdasarkan KM 54 Tahun 2002 menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Db &= 3 \times LOA \\ &= 3 \times 144 = 432 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk proses masuk dan keluar kapal serta bertambatnya kapal dapat dilihat pada (**Gambar 5.2**) dan (**Gambar 5.3**)



Gambar 5. 2 Proses Arah Masuk Kapal



Gambar 5. 3 Proses Arah Keluar Kapal

D. Kebutuhan kolam dermaga (*Basin*)

Berdasarkan *Throesen* untuk kebutuhan kolam dermaga didapatkan rumusan dari sebagai berikut:

1. Lebar kolam dermaga

Direncanakan posisi dermaga bebas

$$\begin{aligned} W &= 1.25 \times B \\ &= 1.25 \times 23 = 28.75 \text{ m} \approx 30 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Panjang kolam dermaga

Direncanakan dengan dibantu kapal pandu

$$\begin{aligned} L &= 1.25 \times \text{LOA} \\ &= 1.25 \times 144 = 180 \text{ m} \end{aligned}$$

3. Kedalaman kolam dermaga

Direncanakan kedalaman kapal di depan dermaga dengan perairan tenang

$$\begin{aligned} D &= 1.1 \times \text{Draft} \\ &= 1.1 \times 8.94 = 9.834 \text{ m} \approx 11 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabel 5. 1 Perencanaan Layout Perairan

Variable	Nilai (m)	Dipakai (M)	Keterangan
Kedalaman Alur Masuk	10.73	12	1.2 x Draft (perairan tidak tenang)
Radius Anchorage Area	233.7	235	LOA + 6D (penjangkaran baik)
Kedalaman Anchorage Area	13.41	14	1.5 x Draft
Jumlah Anchorage Area	4	4	4 x jumlah dermaga
Entrance Channel	149.6	150	Perairan sibuk (2 jalur kapal)
Stopping Distance	1008	1008	7 x LOA (dianggap kapal memiliki beban)
Turning Basin	432	432	3 x LOA (kapal dengan dipandu)
Panjang Kolam Dermaga	180	180	1.25 x LOA (dengan dipandu)
Lebar Kolam Dermaga	28.75	30	1.25 x B (dermaga bebas)
Kedalaman Kolam Dermaga	9.834	11	1.1 x Draft (perairan tenang)

Untuk posisi dermaga yang baru direncanakan pada koordinat $6^{\circ}45'37.27''\text{LS}$ dan $111^{\circ}57'4.47''\text{BT}$.

Dilihat dari kedalaman perairan eksisting di sekitar dermaga (didalam breakwater) relatif memiliki kedalaman yang besar yaitu sekitar -11 mLWS dengan area yang cukup luas, serta ukuran kapal tanker yang relatif tidak terlalu besar yaitu 12.000 DWT dengan ukuran draft sebesar 8.94 m, maka kebutuhan fasilitas perairan di dermaga TPPI terpenuhi dan tidak perlu melakukan pengerukan maupun pergeseran dermaga ke perairan dengan elevasi yang lebih dalam.

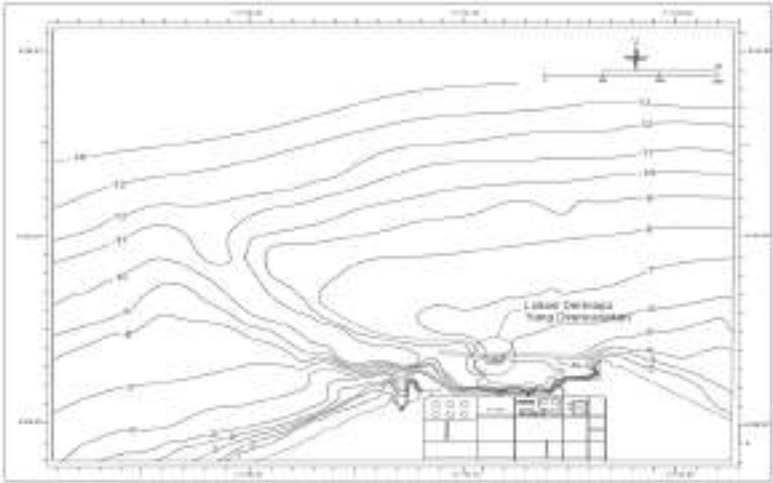
Namun karena bagian alur masuk kapal dan dibagian *turning basin* tidak terpenuhi kedalamannya, maka diperlukan pengerukan sepanjang alur masuk (*entrance channel*) sedalam – 14 mLWS dan pada bagian *turning basin* sedalam -11 mLWS, dengan kemiringan slope pengerukan 1:1,5. Untuk layout dermaga dengan pengerukan dapat dilihat pada (**Gambar 5.4**)

5.2.2 Perencanaan Layout Dermaga

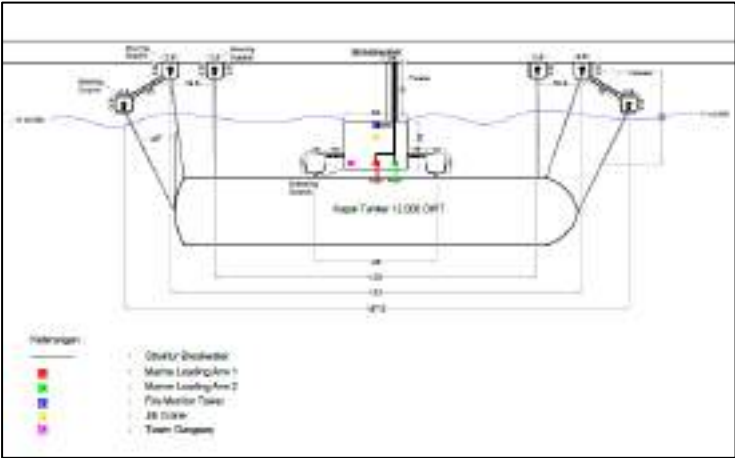
- a. Elevasi dermaga
Elevasi dermaga dipengaruhi oleh besarnya beda pasang surut. Elevasi dermaga dihitung pada saat air pasang. Diambil dari data pasang surut sebesar 1.7 mLWS. Elevasi dermaga dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :
$$El = \text{Beda pasut} + (0.4 \sim 1.5)$$
$$El = 1.7 + 1.5 = 3.2 \text{ mLWS}$$
- b. Kebutuhan ukuran dermaga
Dimensi dari *loading platform* ditentukan dari ukuran dan jarak dari peralatan diatasnya berupa *Marine Loading Arm (MLA)*, *Gangway Tower*, *Fire Monitor Tower* dan *Jib Crane*. Dimensi dari *Loading Platform* biasanya 24 x 18 m².

- c. Kebutuhan ukuran dan bentang *breasting dolphin*
Breasting dolphin harus bersifat fleksible karena *breasting dolphin* di desain untuk menyerap energy kinetic kapal. Jarak *breasting dolphin* ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :
- $$\begin{aligned}\text{Inner} &= 0.25 \text{ s/d } 0.4 \times \text{LOA (Kapal Tanker 12.000 DWT)} \\ &= 0.3 \times 144 = 45 \text{ m}\end{aligned}$$
- d. Kebutuhan ukuran dan bentang *mooring dolphin*
Mooring dolphin harus ditempatkan dengan jarak antara 35 – 50 m dibelakang berthing face agar sudut vertical tidak melebihi 30°. Jarak antar *mooring dolphin* ditentukan dengan rumus sebagai berikut :
- $$\begin{aligned}\text{Inner} &= 0.80 \times \text{LOA (Kapal Tanker 12.000 DWT)} \\ &= 0.80 \times 144 = 120 \text{ m}\end{aligned}$$
- Outer memakai sudut 15 derajat

Untuk hasil perencanaan dari layout dermaga dapat dilihat pada (**Gambar 5.5**) dan (**Gambar 5.6**).

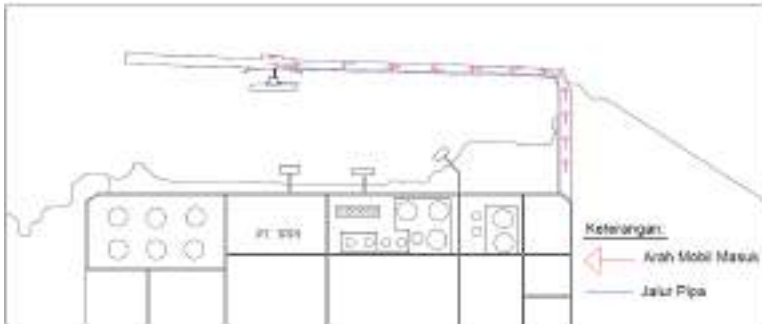


Gambar 5. 5 Lokasi Dermaga Yang Direncanakan



Gambar 5. 6 Layout Dermaga TPPI

Breakwater direncanakan dengan lebar 6m sehingga kendaraan bisa masuk melewati breakwater. Untuk proses arah masuk kendaraan dari daratan menuju ke dermaga dan jalur pipa dari *Marine Loading Arm*, dapat dilihat pada (**Gambar 5.7**)



Gambar 5. 7 Proses Masuk Kendaraan dari Daratan

5.2.2.1 Kriteria Muatan

Material yang akan dihandle di jetty selatan ini ada 2 macam, meliputi:

1. ***IFO (Intermediate Fuel Oil)***

Disebut juga Marine Fuel Oil (IFO), atau minyak berat.

Karakteristik *IFO*:

- Produk hasil distilasi tetapi hasil dari jenis residu yang berwarna hitam
- Memiliki tingkat kekentalan yang lebih tinggi daripada minyak diesel.
- Digunakan untuk Low Speed Diesel Engine

2. ***MDO (Marine Diesel Oil)***

Adalah jenis bahan bakar minyak yang digunakan dalam bidang maritim untuk Medium Speed Diesel Engine. Biasa disebut juga Industrial Diesel Oil (IDO), Marine Diesel Fuel (MDF), atau minyak diesel.

Karakteristik *MDO*:

- Hasil penyulingan minyak yang berwarna hitam dan berbentuk cair pada temperature rendah
- Memiliki kandungan sulfur yang rendah
- Angka cetane 35

Perbandingan 2 jenis bahan bakar (MDO dan IFO) dapat dilihat pada (**tabel 5.2**)

Tabel 5. 2 Perbandingan MDO dan IFO

Exxonmobil	MDO	IFO
Viskositas (Cst)	2-11 (at 40C)	700 (at 50C)
Density (kg/m3)	900 (at 15C)	1010 (at 15C)
Cetane Number	35	CCAI: 870
Water Content (Volume %)	0,3	0,5
Sulfur Content %	2,0	-

(Sumber: *exxonmobil*)

5.2.2.2 Peraturan Keselamatan dan Prosedur Kerja

Peraturan keselamatan dan prosedur kerja sangat perlu dilakukan di dalam dermaga, agar menghindari hal-hal yang tidak diinginkan. Peraturan tersebut harus disepakati dan dipatuhi oleh orang yang ada di dalam area pelabuhan. Adapun peraturan adalah sebagai berikut:

1. Adanya tanda larangan untuk merokok di dalam dermaga, dengan Bahasa yang sesuai. Tanda larangan harus ditampilkan di pintu masuk dermaga.
2. Jika ada tempat yang diperbolehkan untuk merokok, maka sebelumnya harus ada kesepakatan secara tertulis antara pimpinan dan wakil.
3. Area tempat memasak/dapur harus dipertimbangkan lokasi yang tepat dan ventilasi dapur.

4. Telephone, radio, dan peralatan portable lainnya tidak boleh ditempatkan di daerah berbahaya, harus dipertimbangkan lokasi yang tepat.
5. Penggunaan kendaraan dan peralatan harus dikontrol/diberi tempat parkir sendiri bila perlu, untuk mencegah kendaraan illegal masuk ke daerah dermaga.

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VI

PERHITUNGAN STRUKTUR DERMAGA

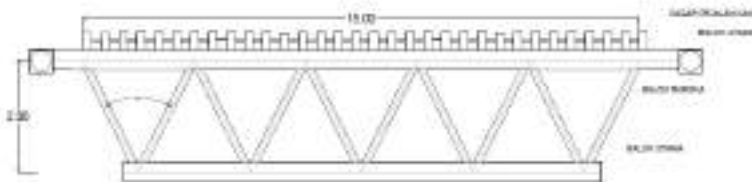
6.1 PERHITUNGAN CATWALK 1

6.1.1 Umum

Pada tugas akhir ini struktur catwalk 1 digunakan sebagai penghubung antara *mooring dolphin*.

Dimensi catwalk direncanakan sebagai berikut lihat (**Gambar 6.1**):

Panjang catwalk 1	: 15 m
Lebar	: 1,5 m
Jarak antar balok melintang	: 1,5 m
Tinggi	: 2 m



Gambar 6. 1 Potongan Struktur Catwalk 1

6.1.2 Perencanaan Balok Utama

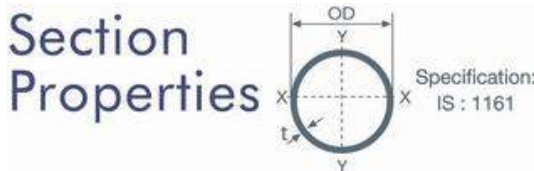
Direncanakan profil balok utama untuk catwalk terbuat dari *Circular Hollow Sections* (CHS), karena fabrikasinya mudah dibentuk sesuai permintaan dan penampangnya yang bulat sehingga lebih elastis.

6.1.2.1 Spesifikasi Balok Utama

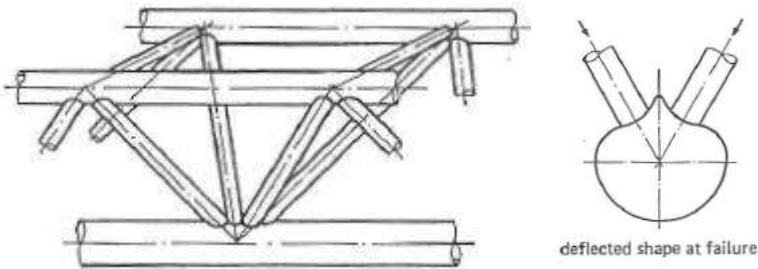
Profil *Circular Hollow Section* yang direncanakan mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

- Material Type = Coldformed
- Nominal Bore (mm) = 200

- Outside diameter (OD) = 219,1 mm
- Wall thickness (t) = 10 mm
- Young Modulus (E) = 2100000 kg/cm²
- Section Modulus = 328,61 cm³
- Area of Cross Section (A) = 65,72 cm²
- Outer Surface Area (cm²/m) = 6886
- Moment of Inertia (I) = 3599,89 cm⁴
- Tensile Stress (fu) = 5000 kg/cm²
- Yield Stress (fy) = 40 % x 5000 kg/cm²
= 2000 kg/cm²
- Length (L) = 1,5 meter
- Radius of Gyration (r) = 7,4 cm



(Sumber : www.tatastructura.com)



Gambar 6. 2 Multiplanar “K” joints pada struktur catwalk 1
 (Sumber: *Design Guide for Circular Hollow Section(CHS) joint under predominantly static loading*, 2nd edition,2008)

6.1.2.2 Pembebanan Balok Utama (CHS-200)

Beban rencana yang berada pada balok utama terdiri dari beban mati dan hidup yang berasal dari:

- Pelat Transisi (Transitional Slab)

Pada elemen pelat direncanakan pelat baja dengan beban sebesar 100 kg/m^2 dan tebal 2,5 cm. Dihitung sebagai beban mati pada analisis SAP 2000.

- Balok Utama (Main Beam)

Balok utama menggunakan CHS dengan spesifikasi bahan seperti di atas. Beban dari elemen ini secara otomatis akan dihitung sendiri oleh program SAP.

- Beban Hidup Rencana

Balok utama menggunakan CHS-200 juga menerima beban hidup sebesar 250 kg/m^2

- Beban terpusat

Beban manusia dianggap sebagai beban terpusat dan diambil beban terpusat sebesar 200 kg/m^2

6.1.2.3 Perhitungan Struktur

Dalam Tugas Akhir ini, untuk perhitungan struktur digunakan program bantu SAP2000. Kombinasi yang dipakai untuk beban rencana adalah:

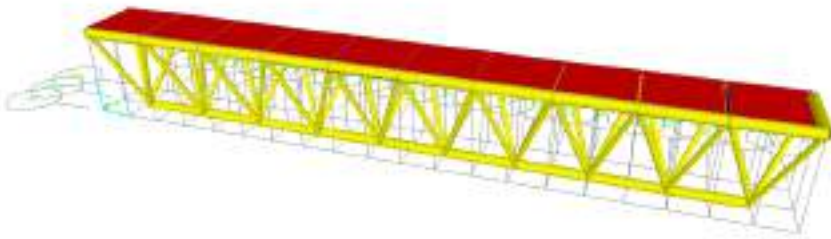
- 1,4 D
- 1,2 D + 1,6 L
- 1,2 D + 1,0 L + 1,6 W
- 0,9 D + 1,6 W

6.1.2.4 Permodelan SAP Catwalk 1

Permodelan SAP catwalk 1 dapat dilihat pada (**Gambar 6.3**) dan (**Gambar 6.4**).



Gambar 6. 3 Beban Area Pada Catwalk



Gambar 6. 4 Rencana 3D Struktur Catwalk

Adapun output dari hasil analisis SAP dapat dilihat pada (tabel 6.1) dibawah ini:

Tabel 6. 1 Output SAP Balok Utama

Loads/Forces	Output Case	Frame/Joint	Value	Unit
P (Tekan)	1.2D+1.6L	71	59.58	Kgf
P (Tarik)	1.2D+1.6L	93	7564	Kgf
V	1.2D+1.6L	76	281.32	Kgf
M	1.2D+1.6L	71	76.23	Kgf-m
U	1.2D+1.6L	83	0,000084	m

6.1.2.5 Kontrol Struktur

- Kontrol Buckling :

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{219,1mm}{10mm} = 21,91$$

$$\lambda_p = \frac{9000}{f_y} = \frac{9000}{200Mpa} = 45$$

Karena $\lambda < \lambda_p$ maka profil kompak

- Kontrol kelangsingan komponen :

$$\lambda = \frac{l}{r} = \frac{150}{7,4} = 20,3$$

$$= 20,3 < 150 \text{ (OK)}$$

- Kontrol kuat leleh :

$$\Phi P_n = 0,9 A_g f_y$$

$$\Phi P_n = 0,9 \times 65,72 \times 2000$$

$$\Phi P_n = 118296 \text{ Kg (leleh menentukan)}$$

- Kontrol kuat putus :

$$A_n = A_g = 65,72 \text{ cm}^2$$

$$\Phi P_n = 0,75 A_n f_u$$

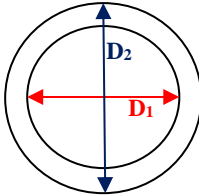
$$\Phi P_n = 0,75 \times 65,72 \times 5000$$

$$\Phi P_n = 246450 \text{ Kg}$$

Kuat rencana tarik :

$$\Phi P_n = 118296 \text{ Kg} > P_{tarik} = 7564 \text{ Kg (OK)}$$

- Kontrol Momen :



*Sketsa penampang
CHS*

$S_{x,y}$ = Modulus penampang elastis

$$\begin{aligned} &= \frac{\pi(D_2^4 - D_1^4)}{32D_2} \\ &= \frac{\pi(219,1^4 - 199,1^4)}{32(219,1)} \\ &= 328474,6 \text{ mm}^3 = 328,4746 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$Z_{x,y}$ = Modulus penampang plastis

$$\begin{aligned} &= D^2t - 2Dt^2 + 4/3 t^3 \\ &= 219,1^2 \times 10 - 2 \times 219,1 \times 10^2 + 4/3 \times 10^3 \\ &= 437561,43 \text{ mm}^3 = 437,561 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Momen Leleh :

$$M_y = S_{x,y} \cdot f_y$$

$$M_y = 328,4746 \text{ cm}^3 \times 2000 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_y = 656949,2 \text{ Kgcm} = 6569,49 \text{ Kgm (menentukan)}$$

Momen Plastis :

$$M_p = Z_{x,y} f_y$$

$$M_p = 437,561 \text{ cm}^3 \times 2000 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_p = 875122 \text{ Kgcm} = 8751,22 \text{ Kgm}$$

Kontrol $M_p \leq 1,5 M_y$ (SNI 03-1729-2002 pasal 8.2.1)

$$M_p \leq 1,5 \times 6569,49 \text{ Kgm}$$

$$8751,22 \text{ Kgm} \leq 9854,23 \text{ Kgm} \text{ (OK)}$$

$$M_{u_{aktual}} < \phi M_{n_{profil}}$$

$$76,23 \text{ Kgm} < 0,9 \times 6569,49 \text{ Kgm}$$

$$M_{u_{aktual}} (76,23 \text{ Kgm}) < 5912,54 \text{ Kgm} \text{ (OK)}$$

- Kontrol gaya tekan (*Axial force*) :

$$\lambda_r = 0,114 \frac{E}{f_y} = 0,114 \frac{2100000}{2000} = 119,7$$

$$\lambda_c = \frac{K l}{r \pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1 \times 150}{7,4 \pi} \sqrt{\frac{2000}{2100000}} = 0,199$$

$$\lambda_c < \lambda_r \text{ maka } Q = 1$$

$$\lambda_c < 1,5 \text{ maka } F_{cr} = (0,658^{\lambda_c^2}) f_y$$

$$F_{cr} = Q (0,658^{Q \lambda_c^2}) f_y$$

$$F_{cr} = 1 (0,658^{1(0,199)^2}) 2000 = 1967,123 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_n = 0,85 F_{cr} A_g$$

$$P_n = 0,85 \times 1967,123 \times 65,72 \text{ cm}^2$$

$$P_n = 109887,4 \text{ Kg}$$

$$P_n = 109887,4 \text{ Kg} > P_{aktual} = 59,58 \text{ Kg} \text{ (OK)}$$

- Kontrol geser bahan (*Shear force*) :

$$V_n = 0,9 \cdot F_{cr} \cdot \frac{A_g}{2}$$

$$V_n = 0,9 \times 1967,123 \times \frac{65,72}{2}$$

$$V_n = 58175,69 \text{ Kg}$$

$$V_n = 58175,69 \text{ Kg} > V_{aktual} = 281,32 \text{ Kg} \text{ (OK)}$$

- Kontrol tegangan bahan (*Yield strength*) :

$$\sigma_{\text{aktual}} = \frac{P}{A} + \frac{M}{Z}$$

$$\sigma_{\text{aktual}} = \frac{7564}{65,72} + \frac{76,23}{437,561} = 115,268 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{ijin}} = 2000 \text{ Kg/cm}^2 > \sigma_{\text{aktual}} = 115,268 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (OK)}$$

- Kontrol lendutan

$$\Delta_{\text{ijin}} = \frac{L}{180} = \frac{1,5}{180} = 0,00833 \text{ m}$$

$$\Delta_{\text{ijin}} = 0,011 \text{ m} > \Delta_{\text{aktual}} = 0,000084 \text{ m}$$

6.1.3 Perencanaan Kerangka Balok

Direncanakan profil kerangka balok utama untuk catwalk terbuat dari *Circular Hollow Sections* (CHS).

6.1.3.1 Spesifikasi Kerangka Balok

Profil Circular hollow yang direncanakan mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

- Material Type = Coldformed
- Nominal Bore (mm) = 100
- Outside diameter (OD) = 114,3 mm
- Wall thickness (t) = 5,4 mm
- Young Modulus (E) = 2100000 kg/cm²
- Section Modulus = 48,0 cm³
- Area of Cross Section (A) = 18,5 cm²
- Outer Surface Area (cm²/m) = 3591
- Moment of Inertia (I) = 274,5 cm⁴
- Tensile Stress (fu) = 5000 kg/cm²
- Yield Stress (fy) = 40% x 5000 kg/cm²
= 2000 kg/cm²

- Length (L) = 1,5 meter
- Radius of Gyration (r) = 3,85 cm

6.1.3.2 Pembebanan Kerangka Balok (CHS-100)

Beban rencana yang berada pada balok utama terdiri dari beban mati dan hidup yang berasal dari:

- Pelat Transisi (Transitional Slab)

Pada elemen pelat direncanakan pelat baja dengan beban sebesar 100 kg/m^2 dan tebal 2,5 cm. Dihitung sebagai beban mati pada analisis SAP 2000.

- Berat sendiri Balok Utama CHS 200

Sebesar $14,5 \text{ kg/m}$ yang secara otomatis dihitung sendiri oleh program SAP2000v.14.2.2

- Beban Hidup Rencana

Balok utama menggunakan CHS-200 juga menerima beban hidup sebesar 250 kg/m^2

6.1.3.3 Perhitungan Struktur

Dalam Tugas Akhir ini, untuk perhitungan struktur digunakan program bantu SAP2000. Kombinasi yang dipakai untuk beban rencana adalah

- 1,4 D
- 1,2 D + 1,6 L
- 1,2 D + 1,0 L + 1,6 W
- 0,9 D + 1,6 W

Adapun output dari hasil analisi SAP dapat dilihat pada (tabel 6.2) dibawah ini:

Tabel 6. 2 Output SAP Kerangka Balok

Loads/Forces	Output Case	Frame/Joint	Value	Unit
P (Tekan)	1.2D+1.6L	234	1793.36	Kgf
P (Tarik)	1.2D+1.6L	232	1945.88	Kgf
V	1.2D+1.6L	99	305.55	Kgf
M	1.2D+1.6L	99	36.41	Kgf
U	1.2D+1.6L	241	0.000012	m

6.1.3.4 Kontrol Struktur

- Kontrol Buckling :

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{114,3}{5,4} = 21,167$$

$$\lambda_p = \frac{9000}{fy} = \frac{9000}{200Mpa} = 45$$

Karena $\lambda < \lambda_p$ maka profil kompak

- Kontrol kelangsingan komponen :

$$\lambda = \frac{l}{r} = \frac{150}{3,85} = 38,9$$

$$= 38,9 < 150 \text{ (OK)}$$

- Kontrol kuat leleh :

$$\Phi P_n = 0,9 A_g f_y$$

$$\Phi P_n = 0,9 \times 18,5 \times 2000$$

$$\Phi P_n = 33300 \text{ Kg (menentukan)}$$

- Kontrol kuat putus :

$$A_n = A_g = 18,5 \text{ cm}^2$$

$$\Phi P_n = 0,75 A_n f_u$$

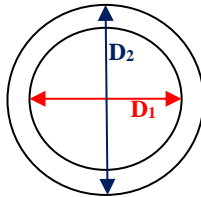
$$\Phi P_n = 0,75 \times 18,5 \times 5000$$

$$\Phi P_n = 69375 \text{ Kg}$$

Kuat rencana tarik

$$\Phi P_n = 48285 \text{ Kg} > P_{\text{tarik}} = 1945,88 \text{ Kg (OK)}$$

- Kontrol Momen :



*Sketsa penampang
CHS*

$S_{x,y}$ = Modulus penampang elastis

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\pi(D_2^4 - D_1^4)}{32D_2} \\
 &= \frac{\pi(114,3^4 - 103,5^4)}{32(114,3)} \\
 &= 48038,29 \text{ mm}^3 = 48,038 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$Z_{x,y}$ = modulus penampang plastis

$$\begin{aligned}
 &= D^2t - 2Dt^2 + 4/3 t^3 \text{ atau } \rightarrow \frac{D_2^3 - D_1^3}{6} \\
 &= \frac{114,3^3 - 103,5^3}{6} \\
 &= 64092,222 \text{ mm}^3 = 64,092 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Momen Leleh :

$$\begin{aligned}
 M_y &= S_{x,y} \cdot f_y \\
 &= 48,0383 \text{ cm}^3 \times 2000 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 96076,6 \text{ Kgcm} \\
 &= 960,76 \text{ Kgm (menentukan)}
 \end{aligned}$$

Momen Plastis :

$$\begin{aligned}
 M_p &= Z_{x,y} f_y \\
 &= 64,092 \text{ cm}^3 \times 2000 \text{ Kg/cm}^2 \\
 &= 128184 \text{ Kgcm} \\
 &= 1281,84 \text{ Kgm}
 \end{aligned}$$

Kontrol $M_p \leq 1,5 M_y$ (SNI 03-1729-2002 psl 8.2.1)

$$M_p \leq 1,5 \times 960,76 \text{ Kgm}$$

$$1281,84 \text{ Kgm} \leq 1441,14 \text{ Kgm} \text{ (OK)}$$

$$M_{u_{\text{aktual}}} < \phi M_{n_{\text{profil}}}$$

$$36,41 \text{ kg.m} < 0,9 \times 960,76 \text{ kg.m}$$

$$M_{u_{\text{aktual}}} (36,41 \text{ Kgm}) < 864,684 \text{ kg.m} \text{ (OK)}$$

- Kontrol gaya tekan (*Axial force*) :

$$\lambda_r = 0,114 \frac{E}{fy} = 0,114 \frac{2100000}{2000} = 119,7$$

$$\lambda_c = \frac{K l}{r \pi} \sqrt{\frac{fy}{E}} = \frac{1 \times 150}{3,85 \pi} \sqrt{\frac{2000}{2100000}} = 0,383$$

$$\lambda_c < \lambda_r \text{ maka } Q = 1$$

$$\text{Karena } \lambda_c < 1,5 \text{ maka } F_{cr} = (0,658^{\lambda_c^2}) \times fy$$

$$F_{cr} = Q (0,658^{Q \lambda_c^2}) fy$$

$$F_{cr} = 1 (0,658^{1(0,383)^2}) 2000 = 1880,9 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_n = 0,85 F_{cr} A_g$$

$$P_n = 0,85 \times 1880,9 \times 18,5 \text{ cm}^2$$

$$P_n = 29577,15 \text{ Kg}$$

$$P_n = 29577,15 \text{ Kg} > P_{\text{aktual}} = 1793,36 \text{ Kg} \text{ (OK)}$$

- Kontrol geser bahan (*Shear force*) :

$$V_n = 0,9 F_{cr} \frac{A_g}{2}$$

$$V_n = 0,9 \times 1880,9 \times \frac{18,5}{2}$$

$$V_n = 15658,49 \text{ Kg}$$

$$V_n = 15658,49 \text{ Kg} > V_{\text{aktual}} = 305,55 \text{ Kg} \text{ (OK)}$$

- Kontrol tegangan bahan (*Yield strength*) :

$$\sigma_{\text{aktual}} = \frac{P}{A} + \frac{M}{Z}$$

$$\sigma_{\text{aktual}} = \frac{1945,88}{18,5} + \frac{36,41}{64,092} = 105,75 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{ijin}} = 2000 \text{ Kg/cm}^2 > \sigma_{\text{aktual}} = 105,75 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (OK)}$$

- Kontrol lendutan

$$\Delta_{\text{ijin}} = \frac{L}{180} = \frac{1,5}{180} = 0,00833 \text{ m}$$

$$\Delta_{\text{ijin}} = 0,011 \text{ m} > \Delta_{\text{aktual}} = 0,000012 \text{ m}$$

6.1.4 Perhitungan Pengelasan

Untuk perhitungan pengelasan menggunakan perhitungan las sudut. Las sudut bersifat ekonomis secara keseluruhan, mudah dibuat, serta merupakan jenis las yang paling banyak dipakai dibanding jenis las yang lain. Perhitungan las sudut sebagai berikut:

Fe70xx (bahan las yang digunakan)

E – Elektrode

60 menunjukkan kekuatan tarik minimum dalam KSI (1 ksi = 70,3 kg/cm²)

Digit dibelakangnya xx, menunjukkan tipe coatingnya.

Anggap te = 0,5 cm

$$A = 65,72 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} I_x &= 2 \times 3,14 \times r^3 \\ &= 2 \times 3,14 \times 7,4^3 \\ &= 2546,09 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$S_x = 3,14 \times r^2$$

- Akibat beban sentris (Pu = 59,58 kg)

$$Fv = \frac{Pu}{A} = \frac{59,58}{65,72} = 0,91 \text{ kg/cm}^2$$

- Akibat beban momen lentur ($M_u = 7623 \text{ kgcm}$)

$$F_v = \frac{M_u}{S_x} = \frac{7623}{172,03} = 44,31 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{total}} = \sqrt{(\epsilon F_v)^2 + (\epsilon F_h)^2}$$

$$F_{\text{total}} = \sqrt{(0,91)^2 + (44,31)^2}$$

$$= 44,31 \text{ kg/cm}^2 < \phi F_n$$

Kuat rencana las:

$$\phi F_n = 0,75 \times 0,6 \times 70 \times 70,3 = 2214,4 \text{ kg/cm}^2$$

$F_{\text{total}} < \text{Kuat rencana las}$

$$44,31 \text{ kg/cm}^2 < 2214,4 \text{ kg/cm}^2$$

Maka, digunakan bahan las Fe70xx

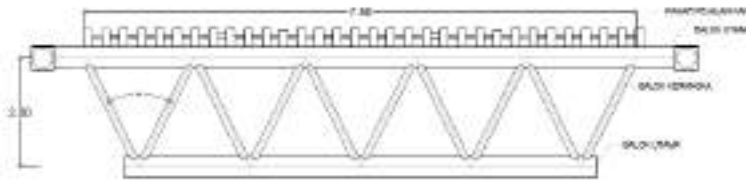
6.2 PERHITUNGAN CATWALK 2

6.2.1 Umum

Pada tugas akhir ini struktur catwalk 2 digunakan sebagai penghubung antara *breasting dolphin* dengan *loading platform* lihat (**Gambar 6.5**).

Dimensi catwalk direncanakan sebagai berikut:

Panjang catwalk 2	: 7,5 m
Lebar	: 1,5 m
Jarak antar balok melintang	: 1,5 m
Tinggi	: 2 m



Gambar 6. 5 Potongan Struktur Catwalk 2

6.2.2 Perencanaan Balok Utama

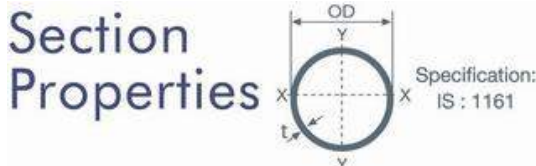
Direncanakan profil balok utama untuk catwalk terbuat dari *Circular Hollow Sections* (CHS) karena fabrikasinya mudah dibentuk sesuai permintaan dan penampangannya yang bulat sehingga lebih elastis.

6.2.2.1 Spesifikasi Balok Utama

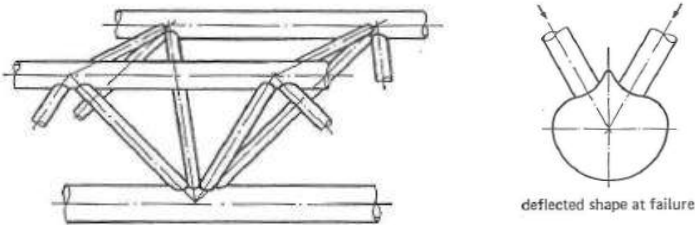
Profil *Circular Hollow Section* yang direncanakan mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

- Material Type = Coldformed
- Nominal Bore (mm) = 150
- Outside diameter (OD) = 165,1 mm
- Wall thickness (t) = 5,4 mm
- Young Modulus (E) = 2100000 kg/cm²
- Section Modulus = 105 cm³
- Area of Cross Section (A) = 27,1 cm²
- Outer Surface Area (cm²/m) = 5187
- Moment of Inertia (I) = 864,7 cm⁴
- Tensile Stress (fu) = 5000 kg/cm²
- Yield Stress (fy) = 40% x 5000 kg/cm²
= 2000 kg/cm²

- Length (L) = 1,5 meter
- Radius of Gyration (r) = 5,65 cm



(Sumber : www.tatastructura.com)



Gambar 6. 6 Multiplanar “K” joints pada struktur catwalk 2

(Sumber: *Design Guide for Circular Hollow Section (CHS) joint under predominantly static loading*, 2nd edition, 2008)

6.2.2.2 Pembebanan Balok Utama (CHS-150)

Beban rencana yang berada pada balok utama terdiri dari beban mati dan hidup yang berasal dari:

- Pelat Transisi (Transitional Slab)

Pada elemen pelat direncanakan pelat baja dengan beban sebesar 100 kg/m² dan tebal 2,5 cm. Dihitung sebagai beban mati pada analisis SAP 2000.

- Balok Utama (Main Beam)

Balok utama menggunakan CHS dengan spesifikasi bahan seperti di atas. Beban dari elemen ini secara otomatis akan dihitung sendiri oleh program SAP.

- Beban Hidup Rencana

Balok utama menggunakan CHS-100 juga menerima beban hidup sebesar 250 kg/m²

- Beban terpusat
Beban manusia dianggap sebagai beban terpusat dan diambil beban terpusat sebesar 200 kg/m²

6.2.2.3 Perhitungan Struktur

Dalam Tugas Akhir ini, untuk perhitungan struktur digunakan program bantu SAP2000. Kombinasi yang dipakai untuk beban rencana adalah:

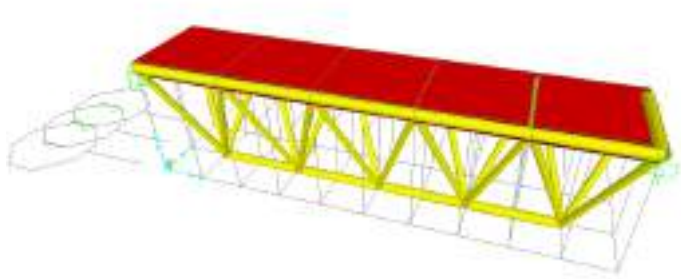
- 1,4 D
- 1,2 D + 1,6 L
- 1,2 D + 1,0 L + 1,6 W
- 0,9 D + 1,6 W

6.2.2.4 Permodelan SAP Catwalk 2

Untuk permodelan SAP catwalk 2 dapat dilihat pada **(Gambar 6.7)** dan **(Gambar 6.5)**.



Gambar 6. 7 Beban Area Pada Catwalk 2



Gambar 6. 8 Rencana 3D Struktur Catwalk 2

Adapun output dari hasil analisis SAP dapat dilihat pada **(tabel 6.3)** dibawah ini:

Tabel 6. 3 Output SAP Balok Utama

Loads/Forces	Output Case	Frame/Joint	Value	Unit
P (Tekan)	1.4D	3	13.52	Kgf
P (Tarik)	1.4D	8	3916.83	Kgf
V	1.2D+1.6L	5	206.91	Kgf
M	1.2D+1.6L	3	46.97	Kgf-m
U	1.2D+1.6L	13	0,0000169	m

6.2.2.5 Kontrol Struktur

- Kontrol Buckling :

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{165,1mm}{5,4mm} = 30,57$$

$$\lambda_p = \frac{9000}{f_y} = \frac{9000}{200Mpa} = 45$$

Karena $\lambda < \lambda_p$ maka profil kompak

- Kontrol kelangsingan komponen :

$$\lambda = \frac{l}{r} = \frac{150}{5,65} = 26,54$$

$$= 26,54 < 150 \text{ (OK)}$$

- Kontrol kuat leleh :

$$\Phi P_n = 0,9 A_g f_y$$

$$\Phi P_n = 0,9 \times 27,1 \times 2000$$

$$\Phi P_n = 48780 \text{ Kg (leleh menentukan)}$$

- Kontrol kuat putus :

$$A_n = A_g = 27,1 \text{ cm}^2$$

$$\Phi P_n = 0,75 A_n f_u$$

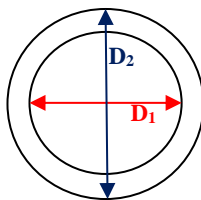
$$\Phi P_n = 0,75 \times 27,1 \times 5000$$

$$\Phi P_n = 101625 \text{ Kg}$$

Kuat rencana tarik :

$$\Phi P_n = 48780 \text{ Kg} > P_{\text{tarik}} = 3916,83 \text{ Kg (OK)}$$

- Kontrol Momen :



*Sketsa penampang
CHS*

$S_{x,y}$ = Modulus penampang elastis

$$= \frac{\pi(D_2^4 - D_1^4)}{32D_2}$$

$$= \frac{\pi(165,1^4 - 154,3^4)}{32(165,1)}$$

$$= 104748,444 \text{ mm}^3 = 104,748 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned}
Z_{x,y} &= \text{Modulus penampang plastis} \\
&= D^2t - 2Dt^2 + 4/3 t^3 \\
&= 165,1^2 \times 5,4 - 2 \times 165,1 \times 5,4^2 + 4/3 \times 5,4^3 \\
&= 137774,574 \text{ mm}^3 = 137,774 \text{ cm}^3 \text{ (menentukan)}
\end{aligned}$$

Momen Leleh :

$$M_y = S_{x,y} \cdot f_y$$

$$M_y = 104,748 \text{ cm}^3 \times 2000 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_y = 209496 \text{ Kgcm} = 2094,96 \text{ Kgm}$$

Momen Plastis :

$$M_p = Z_{x,y} f_y$$

$$M_p = 137,774 \text{ cm}^3 \times 2000 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_p = 275548 \text{ Kgcm} = 2755,48 \text{ Kgm}$$

$$\text{Kontrol } M_p \leq 1,5 M_y \text{ (SNI 03-1729-2002 psl 8.2.1)}$$

$$M_p \leq 1,5 \times 2094,96 \text{ Kgm}$$

$$2755,48 \text{ Kgm} \leq 3142,4 \text{ Kgm} \text{ (Ok)}$$

$$M_{\text{aktual}} < \phi M_{n_{\text{profil}}}$$

$$46,97 \text{ Kgm} < 0,9 \times 2094,96 \text{ Kgm}$$

$$M_{\text{aktual}} (46,97 \text{ Kgm}) < 1885,46 \text{ Kgm} \text{ (Ok)}$$

- Kontrol gaya tekan (*Axial force*) :

$$\lambda_r = 0,114 \frac{E}{f_y} = 0,114 \frac{2100000}{2000} = 119,7$$

$$\lambda_c = \frac{K l}{r \pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1 \times 150}{5,65 \pi} \sqrt{\frac{2000}{2100000}} = 0,26$$

$$\lambda_c < \lambda_r \text{ maka } Q = 1$$

$$\lambda_c < 1,5 \text{ maka } F_{cr} = (0,658^{\lambda_c^2}) x f_y$$

$$\begin{aligned}
 F_{cr} &= Q (0,658^{Q \lambda c^2}) f_y \\
 F_{cr} &= 1 (0,658^{1(0,26)^2}) 2000 = 1944,2 \text{ Kg/cm}^2 \\
 P_n &= 0,85 F_{cr} A_g \\
 P_n &= 0,85 \times 1944,2 \times 27,1 \text{ cm}^2 \\
 P_n &= 44784,64 \text{ Kg} \\
 P_n &= 44784,64 \text{ Kg} > P_{\text{actual}} = 13,52 \text{ Kg (Ok)}
 \end{aligned}$$

- Kontrol geser bahan (*Shear force*) :

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,9 F_{cr} \cdot \frac{A_g}{2} \\
 V_n &= 0,9 \times 1944,2 \times \frac{27,1}{2} \\
 V_n &= 23709,5 \text{ Kg} \\
 V_n &= 23709,5 \text{ Kg} > V_{\text{actual}} = 281,32 \text{ Kg (Ok)}
 \end{aligned}$$

- Kontrol tegangan bahan (*Yield strength*) :

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{aktual}} &= \frac{P}{A} + \frac{M}{Z} \\
 \sigma_{\text{aktual}} &= \frac{3916,83}{27,1} + \frac{46,97}{137,774} = 144,87 \text{ Kg/cm}^2 \\
 \sigma_{\text{ijin}} &= 2000 \text{ Kg/cm}^2 > \sigma_{\text{aktual}} = 144,87 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (Ok)}
 \end{aligned}$$

- Kontrol lendutan

$$\begin{aligned}
 \Delta_{\text{ijin}} &= \frac{L}{180} = \frac{7,5}{180} = 0,0417 \text{ m} \\
 \Delta_{\text{ijin}} &= 0,0417 \text{ m} > \Delta_{\text{aktual}} = 0,0000169 \text{ m}
 \end{aligned}$$

6.2.3 Perencanaan Kerangka Balok

Direncanakan profil kerangka balok utama untuk catwalk terbuat dari *Circular Hollow Sections* (CHS).

6.2.3.1 Spesifikasi Kerangka Balok

Profil Circular hollow yang direncanakan mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

- Material Type = Coldformed
- Nominal Bore (mm) = 100
- Outside diameter (OD) = 114,3 mm
- Wall thickness (t) = 5,4 mm
- Young Modulus (E) = 2100000 kg/cm²
- Section Modulus = 48,0 cm³
- Area of Cross Section (A) = 18,5 cm²
- Outer Surface Area (cm²/m) = 3591
- Moment of Inertia (I) = 274,5 cm⁴
- Tensile Stress (fu) = 5000 kg/cm²
- Yield Stress (fy) = 40% x 5000 kg/cm²
= 2000 kg/cm²
- Length (L) = 2 meter
- Radius of Gyration (r) = 3,85 cm

6.2.3.2 Pembebanan Kerangka Balok (CHS-100)

Beban rencana yang berada pada balok utama terdiri dari beban mati dan hidup yang berasal dari:

- Pelat Transisi (Transitional Slab)

Pada elemen pelat direncanakan pelat baja dengan beban sebesar 100 kg/m² dan tebal 2,5 cm. Dihitung sebagai beban mati pada analisis SAP 2000.

- Balok Utama (Main Beam)

Balok utama menggunakan CHS dengan spesifikasi bahan seperti di atas. Beban dari elemen ini secara otomatis akan dihitung sendiri oleh program SAP.

- Beban Hidup Rencana

Balok utama menggunakan CHS-100 juga menerima beban hidup sebesar 250 kg/m²

6.2.3.3 Perhitungan Struktur

Dalam Tugas Akhir ini, untuk perhitungan struktur digunakan program bantu SAP2000. Kombinasi yang dipakai untuk beban rencana adalah

- 1,4 D
- 1,2 D + 1,6 L
- 1,2 D + 1,0 L + 1,6 W
- 0,9 D + 1,6 W

Adapun output dari hasil analisis SAP dapat dilihat pada (tabel 6.4) dibawah ini:

Tabel 6. 4 Output SAP Kerangka Balok

Loads/Forces	Output Case	Frame/Joint	Value	Unit
P (Tekan)	1.4D	32	1725.82	Kgf
P (Tarik)	1.4D	30	1801.04	Kgf
V	1.2D+1.6L	22	305.55	Kgf
M	1.2D+1.6L	25	35.44	Kgf
U	1.2D+1.6L	36	0,000027	m

6.2.3.4 Kontrol Struktur

- Kontrol Buckling :

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{114,3}{5,4} = 21,167$$

$$\lambda_p = \frac{9000}{f_y} = \frac{9000}{200\text{Mpa}} = 45$$

Karena $\lambda < \lambda_p$ maka profil kompak

- Kontrol kelangsingan komponen :

$$\lambda = \frac{l}{r} = \frac{150}{3,85} = 38,96$$

$$= 38,96 < 200 \text{ (OK)}$$

- Kontrol kuat leleh :

$$\Phi P_n = 0,9 A_g f_y$$

$$\Phi P_n = 0,9 \times 18,5 \times 2000$$

$$\Phi P_n = 33300 \text{ Kg (menentukan)}$$

- Kontrol kuat putus :

$$A_n = A_g = 18,5 \text{ cm}^2$$

$$\Phi P_n = 0,75 A_n f_u$$

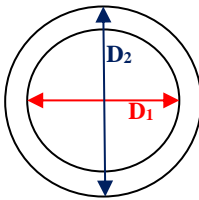
$$\Phi P_n = 0,75 \times 18,5 \times 5000$$

$$\Phi P_n = 69375 \text{ Kg}$$

Kuat rencana tarik

$$\Phi P_n = 33300 \text{ Kg} > P_{tarik} = 1801,04 \text{ Kg (OK)}$$

- Kontrol Momen :



Sketsa penampang
CHS

$S_{x,y}$ = modulus penampang elastis

$$= \frac{\pi(D_2^4 - D_1^4)}{32D_2} = \frac{\pi(114,3^4 - 103,5^4)}{32(114,3)}$$

$$= 48038,297 \text{ mm}^3 = 48,0383 \text{ cm}^3$$

$Z_{x,y}$ = modulus penampang plastis

$$= D^2t - 2Dt^2 + 4/3 t^3 \text{ atau } \rightarrow \frac{D_2^3 - D_1^3}{6}$$

$$= \frac{114,3^3 - 103,5^3}{6}$$

$$= 64092,222 \text{ mm}^3 = 64,092 \text{ cm}^3$$

Momen Leleh :

$$\begin{aligned} M_y &= S_{x,y} \cdot f_y \\ &= 48,0383 \text{ cm}^3 \times 2000 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 96076,6 \text{ Kgcm} \\ &= 96076,6 \text{ Kgm (menentukan)} \end{aligned}$$

Momen Plastis :

$$\begin{aligned} M_p &= Z_{x,y} \cdot f_y \\ &= 64,092 \text{ cm}^3 \times 2000 \text{ Kg/cm}^2 \\ &= 128184 \text{ Kgcm} \\ &= 128184 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Kontrol $M_p \leq 1,5M_y$ (SNI 03-1729-2002 psl 8.2.1)

$$\begin{aligned} M_p &\leq 1,5 \times 96076,6 \text{ kg.m} \\ 128184 \text{ kg.m} &\leq 144114,9 \text{ kg.m (OK)} \end{aligned}$$

$$M_{\text{aktual}} < \phi M_{\text{nprofil}}$$

$$36,41 \text{ kg.m} < 0,9 \times 96076,6 \text{ kg.m}$$

$$M_{\text{aktual}} (36,41 \text{ kg.m}) < 86468,94 \text{ kg.m (OK)}$$

- Kontrol gaya tekan (*Axial force*) :

$$\lambda_r = 0,114 \frac{E}{f_y} = 0,114 \frac{2100000}{2000} = 119,7$$

$$\lambda_c = \frac{K l}{r \pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1 \times 150}{3,85 \pi} \sqrt{\frac{2000}{2100000}} = 0,382$$

$$\lambda_c < \lambda_r \text{ maka } Q = 1$$

$$\text{Karena } \lambda_c < 1,5 \text{ maka } F_{cr} = (0,658^{\lambda_c^2}) \times f_y$$

$$F_{cr} = Q (0,658^{Q \lambda_c^2}) f_y$$

$$F_{cr} = 1 (0,658^{1(0,382)^2}) 2000 = 1881,5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_n = 0,85 F_{cr} A_g$$

$$P_n = 0,85 \times 1881,5 \times 18,5 \text{ cm}^2$$

$$P_n = 29586,6 \text{ Kg}$$

$$P_n = 29586,6 \text{ Kg} > P_{\text{aktual}} = 1725.82 \text{ Kg (OK)}$$

- Kontrol geser bahan (*Shear force*) :

$$V_n = 0,9 \cdot F_{cr} \cdot \frac{A_g}{2}$$

$$V_n = 0,9 \times 1881,5 \times \frac{18,5}{2}$$

$$V_n = 15663,5 \text{ Kg}$$

$$V_n = 15663,5 \text{ Kg} > V_{\text{aktual}} = 305,55 \text{ Kg (OK)}$$

- Kontrol tegangan bahan (*Yield strength*) :

$$\sigma_{\text{aktual}} = \frac{P}{A} + \frac{M}{Z}$$

$$\sigma_{\text{aktual}} = \frac{1801,04}{18,5} + \frac{35,44}{64,092} = 97,906 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{ijin}} = 2000 \text{ Kg/cm}^2 > \sigma_{\text{aktual}} = 97,906 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (OK)}$$

- Kontrol lendutan

$$\Delta_{\text{ijin}} = \frac{L}{180} = \frac{7,5}{180} = 0,0417 \text{ m}$$

$$\Delta_{\text{ijin}} = 0,011 \text{ m} > \Delta_{\text{aktual}} = 0,000027 \text{ m}$$

6.2.4 Perhitungan Pengelasan

Untuk perhitungan pengelasan menggunakan perhitungan las sudut. Las sudut bersifat ekonomis secara keseluruhan, mudah dibuat, serta merupakan jenis las yang paling banyak dipakai dibanding jenis las yang lain. Perhitungan las sudut sebagai berikut:

Fe70xx (bahan las yang digunakan)

E – Elektrode

60 menunjukkan kekuatan tarik minimum dalam KSI (1 ksi = 70,3 kg/cm²)

Digit dibelakangnya xx, menunjukkan tipe coatingnya.

Anggap $t_e = 0,5 \text{ cm}$

$$A = 65,72 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} I_x &= 2 \times 3,14 \times r^3 \\ &= 2 \times 3,14 \times 7,4^3 \\ &= 2546,09 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$S_x = 3,14 \times r^2$$

- Akibat beban sentris ($P_u = 59,58 \text{ kg}$)

$$F_v = \frac{P_u}{A} = \frac{59,58}{65,72} = 0,91 \text{ kg/cm}^2$$

- Akibat beban momen lentur ($M_u = 7623 \text{ kgcm}$)

$$F_v = \frac{M_u}{S_x} = \frac{7623}{172,03} = 44,31 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{total}} = \sqrt{(\epsilon F_v)^2 + (\epsilon F_h)^2}$$

$$F_{\text{total}} = \sqrt{(0,91)^2 + (44,31)^2}$$

$$= 44,31 \text{ kg/cm}^2 < \phi F_n$$

Kuat rencana las:

$$\phi F_n = 0,75 \times 0,6 \times 70 \times 70,3 = 2214,4 \text{ kg/cm}^2$$

$F_{\text{total}} < \text{Kuat rencana las}$

$$44,31 \text{ kg/cm}^2 < 2214,4 \text{ kg/cm}^2$$

Maka, digunakan bahan las Fe70xx

6.3 PERHITUNGAN MOORING DOLPHIN

6.3.1 Umum

Mooring Dolphin berfungsi sebagai tempat tambatan kapal sehingga diperlukan pendefinisian beban-beban yang bekerja serta pendetailan yang baik. Struktur *mooring dolphin* terdiri dari poer pada struktur atasnya dan tiang pancang pada substruktur. Struktur poer berfungsi sebagai penyambung antar ujung tiang pancang, sehingga sekaligus berfungsi sebagai balok dan pelat.

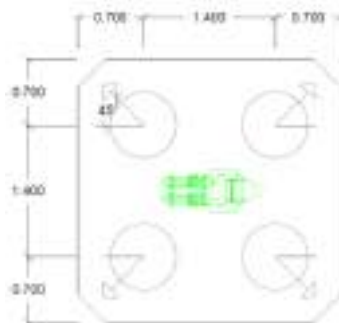
6.3.2 Perencanaan Struktur

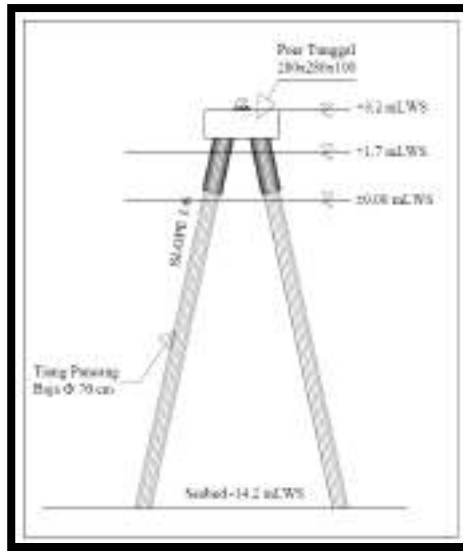
6.3.2.1 Perencanaan Layout *Mooring Dolphin*

Dalam tugas akhir ini *mooring dolphin* direncanakan dengan konfigurasi sebagai berikut:

- Bentuk : Persegi, dengan dimensi 2,8 x 2,8 m
- Tebal : 1.00 m
- Kemiringan : 6:1

Untuk layout *mooring dolphin* dapat dilihat pada (**Gambar 6.9**)





Gambar 6. 9 Layout Mooring Dolphin

6.3.2.2 Pembebanan Struktur *Mooring Dolphin*

a. **Beban Mati**

Beban mati akibat berat sendiri struktur

Beban mati akibat berat sendiri struktur dari pilecap yang diasumsikan sebagai slab, dan berat sendiri steel pile, telah dihitung secara otomatis oleh program SAP2000.

Beban mati terpusat (*Point Load*)

Akibat catwalk sebesar = 4,138 ton

Berat boulder = 1,23 ton (sesuai dengan spesifikasi bollard)

Beban mati terbagi rata

Akibat finishing setebal $t = 5\text{cm} = 0,145 \text{ ton/m}^2$

b. Beban Hidup**Beban hidup vertikal terbagi rata**

Akibat air hujan 5cm sebesar $= 0,05 \text{ ton/m}^2$

Beban pangkalan (*Base load*) $= 2 \text{ ton/m}^2$

c. Beban Horizontal**Beban boulder**

Beban aksi boulder akibat gaya tarik kapal dengan proyeksi arah horizontal sebesar 800 kN (*Lihat bab 4 kriteria design*)

d. Beban Gempa

Lokasi dermaga TPPI terletak di kabupaten Tuban yang berada pada wilayah gempa 2. Perhitungan gaya gempa dihitung dengan cara respon spektrum dinamis pada program SAP2000 V14.0.0.

6.3.2.3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang dipakai untuk struktur *mooring dolphin* ini adalah :

$$1,0D + 1,0L$$

$$1,0D + 1,0L + 1,0B$$

$$1,0D + 0,5L + GX + 0.3 GY$$

$$1,0D + 0,5L + GY + 0.3 GX$$

Dimana:

D = Beban mati dan berat sendiri

L = Beban hidup merata

B = Beban tarik kapal pada boulder

Gx = Beban gempa arah X

Gy = Beban gempa arah Y

6.3.2.4 Permodelan SAP Mooring Dolphin

Untuk permodelan SAP mooring dolphin dapat dilihat pada **(Gambar 6.10)** dan **(Gambar 6.11)**.



Gambar 6. 10 Beban Bollard Mooring Dolphin



Gambar 6. 11 Rencana 3D Mooring Dolphin

6.3.3 Perhitungan Pondasi

Pada perencanaan struktur *mooring dolphin* ini, tiang pancang yang digunakan hanya tiang pancang miring dengan kemiringan 6:1. Pondasi yang digunakan untuk dermaga TPPI adalah tiang baja.

Data Tiang Pancang :

D1 = 700 mm	W	= 237 kg/m
D2 = 672 mm	i	= 24,3 cm
t = 14 mm	E	= 2100000 kg/cm ²
A = 301,70 cm ²	Yield Strength (fy)	= 1960 kg/cm ²
I = 176000 cm ⁴	Tensile Strength (fu)	= 4900 kg/cm ²
Z = 5070 cm ³		

Untuk jenis tanah batuan keras dengan asumsi *submerged soil*, besarnya titik jepit tiang menggunakan persamaan :

$$Z_f = 1,8T$$

$$\text{Dengan } T = \sqrt[5]{EI/nh} ; nh \text{ diambil sebesar } 12000 \text{ kN/m}^3 \\ = 1.200.000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Sehingga } T = \sqrt[5]{\frac{2100000 \times 0,00176 \text{ m}^4}{1200000}} \\ = 1,98 \text{ m}$$

- *Point of Virtual Fixity (Zf)* = 1,8 x 1,98
= 3,6 m (dibawah *seabed*)
- Tinggi Struktur = 14,2 m (diatas *seabed*)
- Tinggi Struktur (dari *Zf*) = 3,6 m + 14,2 m = 17,8 m

Rekapitulasi gaya dalam yang terjadi pada tiang pancang dapat dilihat pada (**tabel 6.5**) di bawah ini:

Tabel 6. 5 Rekap Gaya Dalam Tiang Pancang

Struktur	Loads/Forces	Output Case	Value	Unit	Frame
Tiang Pancang	P (Tekan)	D+L+B	85814.59	Kgf	4
	P (Tarik)	D+L+B	53621.08	Kgf	3
	V	D+L+B	3329.18	Kgf	1
	M	D+L+B	34201.4	Kgf-m	1
	U		0.007	m	3

Perencanaan tiang tekan

Berdasarkan tabel di atas, diambil nilai P_{tekan} terbesar dengan nilai 85,814 ton, sehingga :

$$Q_u = 3 \times 85,814 = 257,442 \text{ ton}$$

Dengan menggunakan grafik daya dukung tanah, kedalaman tiang yang dibutuhkan untuk memikul gaya ini adalah sedalam -18,3 m dari *seabed* atau -29,3 mLWS.

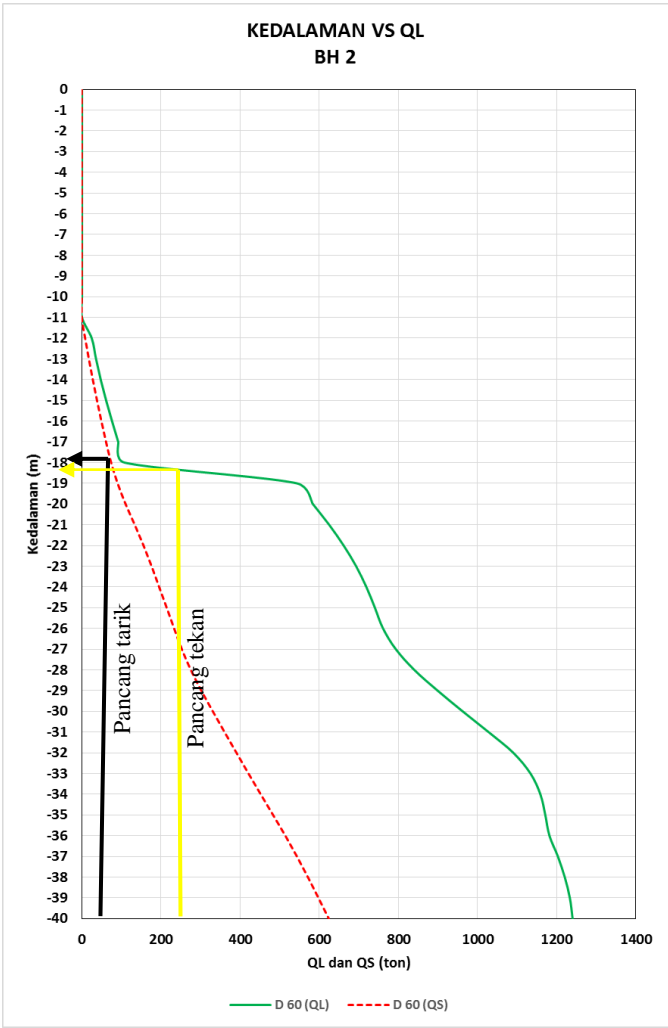
Perencanaan tiang tarik

Berdasarkan tabel di atas, diambil nilai P_{tarik} terbesar dengan nilai 53,621 ton, sehingga :

$$Q_u = 2,5 \times 53,621 = 134,05 \text{ ton}$$

Dengan menggunakan grafik daya dukung tanah, kedalaman tiang yang dibutuhkan untuk memikul gaya ini adalah sedalam -17,8 m dari *seabed* atau -28,8 mLWS.

Untuk grafik daya dukung tanah berdasarkan tiang pancang rencana dapat dilihat pada **(Grafik 6.1)**



Grafik 6. 1 Grafik Daya Dukung Tanah Untuk Mooring Dolphin

Maka perencanaan untuk kedalaman tiang pancang dari *mooring dolphin* ini menggunakan perhitungan grafik daya dukung tanah -29,3 mLWS.

Kontrol tiang pancang terhadap korosi

Korosi tiang diasumsikan terjadi sampai tiang ditumbuhi karang yaitu selama 10 tahun. Metode perawatan digunakan dengan menyediakan alokasi tebal tiang yang akan terkorosi yaitu setebal 3 mm. Sesuai dengan aturan *OCDI* kecepatan korosi adalah 0.3 mm/tahun, sehingga:

$$\text{Diameter rencana} = 700 - 2 \times 3 = 694 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter dalam} = 672 + 2 \times 3 = 678 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang (A)} &= 0.25 \pi (D_1^2 - D_2^2) \\ &= 0.25 \pi (694^2 - 678^2) \\ &= 17241,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen inersia (I)} &= 1/64 \pi (D_1^4 - D_2^4) \\ &= 1/64 \pi (694^4 - 678^4) \\ &= 101433,4691 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Section Modulus (S}_{xy}) &= \frac{\pi \cdot (69,4^4 - 67,8^4)}{32(69,4)} \\ &= 2923,15 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Yield Strength (f}_y) = 1960 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} M_{ijin} &= f_y \times \text{section modulus} \\ &= 1960 \times 2923,15 \\ &= 5729374 \text{ kgcm} = 57,29 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$M_{ijin} > M_u (34,201 \text{ tm}) \quad \textbf{(OK)}$$

Selain dengan menambahkan ketebalan 3mm pada tiang pancang, metode anoda korban juga merupakan salah satu teknik pengggulangan korosi.

Metode anoda korban yaitu pasokan electron dilakukan dengan cara menghubungkan tiang pancang pipa baja dengan logam lain sebagai anoda korban yang memiliki potensial yang

lebih rendah. Pada cara ini terjadi aliran electron dari logam dengan potensial yang lebih rendah ke tiang pancang baja yang potensial nya lebih tinggi. Dengan demikian maka tiang pancang pipa baja akan terlindung dari korosi namun sebagai konsekuensinya logam anoda dalam waktu tertentu akan rusak/habis dan selanjutnya dapat diganti atau diperbarui.

Perhitungan Kalendering

Perumusan kalendering yang dipakai adalah *Alfred Hilley Formula*:

$$Qu = \frac{\alpha.W.H}{S + 0,5.C} \times \frac{W + n^2.Wp}{W + Wp}$$

Karena perhitungan dilakukan sebelum pemancangan, maka yang dihitung adalah nilai S atau penetrasi/blow, yaitu pengamatan yang dilakukan rata-rata di tiga set terakhir, dengan 10 pukulan tiap setnya. Dan disyaratkan apabila untuk kedalaman yang sama $S > S'$, maka pemancangan dihentikan.

Dimana :

S = nilai penetrasi/ blow rencana dari perhitungan

S' = nilai penetrasi/ blow saat pemancangan

Qu = 257,442 ton

W = 10 ton (*Hydrolic Hammer*)

H_{hammer} = 2 m, tinggi jatuh hammer untuk kondisi normal

C1 = 5 mm (*untuk hard cushion + packing*)

C2 = 10 mm (*Untuk Steel Pile*)

C3 = 1 mm (*Hard Ground, SPT > 50*)

C = c1 + c2 + c3 = 16 mm

Panjang tiang pancang miring yang dibutuhkan:

$$L = \sqrt{17,8^2 + \left(\frac{17,8}{6}\right)^2} = 18,04$$

$$\begin{aligned}
L &= 18,04 + 1,7 \text{ (pasang surut)} + 0,5 \text{ (tinggi jagaan)} = 20,24 \\
W_p &= \text{berat tiang pancang (ton)} \\
&= \text{berat per meter} \times L \\
&= 0,237 \text{ ton/m} \times 20,24 \text{ m} = 4,79 \text{ ton} \\
\alpha &= 2,5 \text{ (hydraulic hammer)} \\
n &= 0,32 \text{ (untuk compact wood cushion on steel pile)}
\end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
Q_u &= \frac{\alpha \cdot W \cdot H}{S + 0,5 \cdot C} \times \frac{W + n^2 \cdot W_p}{W + W_p} \\
257,442 &= \frac{2,5 \cdot 10 \cdot 2}{S + 0,5 \cdot 0,016} \times \frac{10 + 0,32^2 \cdot 4,79}{10 + 4,79}
\end{aligned}$$

$$S = 0,134 \text{ m} = 134 \text{ mm}$$

Jadi setting kalendering yang digunakan untuk tiang pancang ini adalah 134 mm.

Kontrol kuat tekuk / kuat axial

Tiang pancang dianggap ujungnya terjepit atau fixed headed condition, kuat tekuk tiang pancang adalah:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(Z_f + e)^2}$$

Dimana,

$$\begin{aligned}
e &= \text{jarak lateral load dengan muka tanah} \\
&= 14,2 + 0,5 \text{ (tinggi jagaan)} \\
&= 14,7 \text{ m} \\
z_f &= 3,6 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 2100000 \cdot 176000}{(1470 + 360)^2} = 1089254,92 \text{ kg} = 1089,254 \text{ ton}$$

$P_{cr} > P_u$ (85,814 ton) **(OK)**

Pile material SF > 2

$$SF = \frac{Resistance}{Working Load} = \frac{1089,254}{85,814} = 12,69 > 2 \quad \textbf{(OK)}$$

Kontrol Gaya Horizontal / kuat lateral

M_u ijin = 83,484 tm (lihat: *Kontrol tiang terhadap korosi*)

$$H_u = \frac{2Mu}{(Z_f + e)} \text{ (Tomlinson)}$$

Dimana,

e = jarak lateral load dengan muka tanah

= 14,2 + 0,5 (tinggi jagaan)

= 14,7 m

z_f = 3,6 m

$$H_u = \frac{2 \times 83,484}{(14,7 + 3,6)} = 9,12 \text{ ton}$$

$$H = 3,329 < H_u \quad \textbf{(OK)}$$

Pile material SF > 2

$$SF = \frac{Resistance}{Working Load} = \frac{9,12}{3,329} = 2,73 > 2 \quad \textbf{(OK)}$$

Kontrol Kekuatan Bahan (Tegangan)

P = 85814,59 kg

M = 3420140 kgcm

A = 301,7 cm²

W = 23700 kg/cm

Standard = JIS A 5525

Type = SKK 490

Yield Strength (f_y) = 1960 kg/cm²

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A} + \frac{M}{W} = \frac{85814,59}{301,7} + \frac{3420140}{23700} = 428,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\max} < \sigma_{\text{ijin}} = 1960 \text{ kg/cm}^2$$

6.3.4 Penulangan Poer

Penulangan poer pada struktur *mooring dolphin* ini merupakan jenis poer tunggal dengan data sebagai berikut :

$$\begin{aligned} p &= 280 \text{ cm} && ; \text{decking} = 8 \text{ cm} \\ l &= 280 \text{ cm} && ; D = 2,2 \text{ cm} \\ h &= 100 \text{ cm} && ; A_s = 3,8 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Data bahan :

Mutu Beton :

$$\begin{aligned} K &= 300 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_{\text{bk}} &= 300 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_{\text{b}} &= 99 \text{ kg/cm}^2 \\ E_{\text{b}} &= 6400\sqrt{300} \text{ (Untuk pembebanan tetap)} \\ &= 1,1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Mutu Baja (U32) :

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{au}} &= 1280 \text{ kg/cm}^2 && ; n = E_{\text{a}} / E_{\text{b}} = 17,54 \\ \sigma'_{\text{a}} &= 2780 \text{ kg/cm}^2 \\ E_{\text{a}} &= 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \\ n &= \text{Angka ekivalensi antara modulus elastisitas baja dengan} \\ &\text{modulus tekan beton} \end{aligned}$$

$$n = \frac{E_{\text{a}}}{E_{\text{b}}} = \frac{2,1 \times 10^6}{1,1 \times 10^5} = 17,54$$

ϕ_o = Perbandingan antara tegangan baja tarik dan n kali tegangan tekan beton di serat yang paling tertekan pada keadaan seimbang.

$$\phi_o = \frac{\sigma_{\text{a}}}{n \cdot \sigma_{\text{b}}} = \frac{2780}{17,54 \cdot 99} = 1,6$$

Perhitungan tinggi manfaat :

$$\begin{aligned} h_x &= h - d - 0,5D && = 90,9 \text{ cm} \\ h_y &= h - d - D - 0,5D && = 88,7 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dari hasil SAP2000 v.14.2.2 untuk momen pada pelat dan tiang pancang didapatkan pada (**tabel 6.6**)

Tabel 6. 6 Hasil Analisa SAP2000 Mooring Dolphin

Struktur	Loads/Forces	Output Case	Value	Unit	Frame
Poer	Mslab11	D+L+B	30898.85	Kgm	31
	Mslab22	D+L+B	81666.07	Kgm	31
Pancang	P (Tekan)	D+L+B	85814.59	Kg	4
	P (Tarik)	D+L+B	53621.08	Kg	3
	V	D+L+B	3329.18	Kg	1
	M	D+L+B	34201.4	Kgf-m	1
	U		0.004906	m	3

a. Penulangan Poer Arah X

$$M_x = 30898,85 \text{ kgm}$$

$h/b = 100/280 = 0,36 < 0.5$, sehingga poer ini didesain sebagai pelat dengan $\delta = 0$

$$\phi_o = 0,904$$

$$Ca = \frac{hx}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{90,9 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{17,54 \times 3089885 \text{ kg.cm}}{100 \text{ cm} \times 2780}}} = 5,31$$

Dengan menggunakan nilai $\delta = 0$ dan $Ca = 5,31$, dari tabel n-lentur didapat :

$$\Phi = 3,132 > \phi_o \text{ (OK)}$$

$$100n\omega = 3,683$$

Sehingga,

$$100n\omega = 3,683; \omega = 3,683 / (100 \times 17,54) = 0,00209$$

Luas Tulangan Tarik

Dipasang :

$$\begin{aligned}
 A_s &= \omega b h \\
 &= 0,00209 \times 100 \times 90,9 \\
 &= 18,998 \text{ cm}^2 \\
 S \text{ tulangan} &= \frac{1000 \text{ mm}}{n \text{ tulangan}} \\
 &= \frac{1000 \text{ mm}}{6} = 166,6 \text{ mm} \approx 125 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D22 - 125 dengan luas (22,8 cm²)

Tulangan Samping

Luas tulangan samping diambil sebesar 10% dari luas tulangan tarik (*PBI 1971 9.3.5*).

$$\begin{aligned}
 A_{sd} &= 10\% \times 22,8 = 2,28 \text{ mm}^2 \\
 S \text{ tulangan} &= \frac{1000 \text{ mm}}{n \text{ tulangan}} \\
 &= \frac{1000 \text{ mm}}{2} = 500 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D16-500 ($A_{s \text{ pakai}} = 4,02 \text{ mm}^2$)

Kontrol Retak

Berdasarkan (*PBI 1971 pasal 10.7.1b*) lebar retak yang diijinkan pada beton diluar ruang bangunan (tidak terlindung dari hujan dan terik matahari) adalah 0,1 mm. Perhitungan lebar retak dihitung dengan menggunakan perumusan berikut:

$$w = \alpha (C_3 \times c + C_4 \times \frac{d}{\omega_p}) (\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p}) 10^{-6}$$

dimana nilai ω_p dan σ_a didapat dari rumus berikut untuk balok persegi yang menerima lendut murni.

$$\omega_p = \frac{A_{s \text{ pakai}}}{b \cdot h} = \frac{22,8}{100 \times 90,9} = 0,00251$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\phi} = \frac{2780}{3,132} = 887,6$$

Dari (tabel 10.7.1 PBI '71) diperoleh nilai koefisien C sebagai berikut: $C_3 = 1,5$; $C_4 = 0,16$; $C_5 = 30$

Berat baja tulangan per meter adalah $W_{\text{bar}} = 2,985 \text{ Kg/m}$;

$$d = 12,8 \sqrt{W_{\text{bar}}} = 12,8 \sqrt{2,985} = 29,146 \text{ mm} = 2,92 \text{ cm}$$

$$w = a \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$w = 1 \left(1,5 \cdot 8 + 0,16 \cdot \frac{2,92}{0,00251} \right) \left(887,6 - \frac{30}{0,00251} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$w = -2,251$$

nilai minus, lebar retak berarti $< 0,01 \text{ cm}$ (**OK**)

b. Penulangan Poer Arah Y

$$M_y = 81666.07 \text{ kgm}$$

$h/b = 100/280 = 0,36 < 0,5$, sehingga poer ini didesain sebagai pelat dengan $\delta = 0$

$$\phi_o = 0,904$$

$$\begin{aligned} Ca &= \frac{hy}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{88,7 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{17,54 \times 8166607 \text{ kg.cm}}{100 \text{ cm} \times 2780}}} \\ &= 3,1876 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan nilai $\delta = 0$ dan $Ca = 3,1876$, dari tabel n-lentur didapat :

$$\Phi = 1,667 > \phi_o \quad (\mathbf{OK})$$

$$100n\omega = 11,25$$

Sehingga,

$$100n\omega = 11,25 : \omega = 11,25 / (100 \times 17,54) = 0,006413$$

Luas Tulangan Tarik

Dipasang :

$$\begin{aligned} A_s &= \omega b h \\ &= 0,006413 \times 100 \times 88,7 \\ &= 56,883 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S \text{ tulangan} &= \frac{1000 \text{ mm}}{n \text{ tulangan}} \\ &= \frac{1000 \text{ mm}}{15} = 66,67 \text{ mm} \approx 125 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D22 - 125 dengan luas (59,4 cm²)

Tulangan Samping

Luas tulangan samping diambil sebesar 10% dari luas tulangan tarik (*PBI 1971 9.3.5*).

$$A_{sd} = 10\% \times 59,4 = 5,94 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} S \text{ tulangan} &= \frac{1000 \text{ mm}}{n \text{ tulangan}} \\ &= \frac{1000 \text{ mm}}{3} = 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D16-500 ($A_{s \text{ pakai}} = 6,03 \text{ mm}^2$)

Kontrol Retak

Berdasarkan (*PBI 1971 pasal 10.7.1b*) lebar retak yang diijinkan pada beton diluar ruang bangunan (tidak terlindung dari hujan dan terik matahari) adalah 0,1 mm.

Perhitungan lebar retak dihitung dengan menggunakan perumusan berikut:

$$w = \alpha (C_3 \times c + C_4 \times \frac{d}{\omega_p}) (\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p}) 10^{-6}$$

dimana nilai ω_p dan σ_a didapat dari rumus berikut untuk balok persegi yang menerima lendut murni.

$$\omega_p = \frac{A_{s \text{ pakai}}}{b \cdot h} = \frac{59,4}{100 \times 88,7} = 0,006854$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\phi} = \frac{2780}{1,667} = 1667,6$$

Dari (tabel 10.7.1 PBI '71) diperoleh nilai nilai koefisien C sebagai berikut: $C_3 = 1,5$; $C_4 = 0,16$; $C_5 = 30$

Berat baja tulangan per meter adalah $W_{\text{bar}} = 2,985 \text{ Kg/m}$;

$$d = 12,8 \sqrt{W_{\text{bar}}} = 12,8 \sqrt{5,185} = 29,146 \text{ mm} = 2,92 \text{ cm}$$

$$w = a \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$w = 1 \left(1,5 \cdot 8 + 0,16 \cdot \frac{2,92}{0,006854} \right) \left(1667,6 - \frac{30}{0,006854} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$w = -0,269$$

nilai minus, lebar retak berarti $< 0,01 \text{ cm}$ (**OK**)

Kontrol Geser Pons

Pada struktur *mooring dolphin*, kontrol geser pons perlu dikontrol karena pada struktur ini tidak ada balok, sehingga tiang pancang langsung menumpu pada poer dan kemungkinan besar terjadi plong pada poer tersebut. Tegangan geser pons ditentukan oleh rumus:

$$\tau_{bp} = \frac{P}{\pi \cdot (c + ht) \cdot ht} \leq \tau_{bm} \quad (PBI 71 \text{ 11.9.(2)})$$

Dimana:

P = Gaya aksial pelat dari tiang pancang

c = Diameter tiang pancang

ht = Tinggi total pelat atau poer

τ_{bm} = Tegangan ijin beton ($0,65 \sqrt{\sigma'_{bk}}$)

Sehingga:

$$\tau_{bp} = \frac{3329,18}{\pi \cdot (70 + 100) \cdot 100} \leq 0,65 \sqrt{300}$$

$$\tau_{bp} = 0,0623 \text{ kg/cm}^2 \leq 11,25 \text{ kg/cm}^2$$

Karena geser pons yang terjadi lebih kecil dari tegangan ijin beton, maka poer dikatakan aman dari gaya pons atau keruntuhan akibat pons.

Kontrol kemampuan tulangan menahan geser

$$A_h = \frac{P}{\sigma_a \cdot \mu} < A_s \text{ (PBI '71 (11.10))}$$

A_h = luas efektif tulangan horisontal yg diperlukan
dengan $\mu = 1,4$

$$A_h = \frac{85814,59 \text{ kg}}{2780 \text{ kg/cm}^2 \times 1,4} = 2204,8 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang dipakai 10 D29

$$n, A_s = 10 \times 0,25 \times 3,14 \times 29^2 = 6605,19 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 6606,19 \text{ mm}^2 > A_h = 2204,8 \text{ mm}^2$$

$$A_s > A_h \quad \textbf{(OK)}$$

Jadi tulangan yang terpasang pada pelat mooring dolphin mampu menahan tegangan geser

Kontrol kekuatan tulangan terhadap gaya tarik pada sambungan poer dan tiang pancang

Tulangan yang berada dibagian dalam steel pile harus dicek kemampuannya dalam menahan gaya aksial (P) tarik sebesar = 53,621 ton . Beberapa hal yang harus dicek antara lain:

1. Kekuatan tarik dari tulang yang berada didalam steel pile (**10 – D22**, yield strength (f_y) = 196 Mpa)
 - a. P_{nt} (kekuatan tarik tulangan = $A_s \cdot n \cdot f_y \cdot \emptyset$)
 - b. Dimana $\emptyset = 0.8$ (SNI 2847 2002, 11.3.2 , \emptyset untuk axial tension atau P_{tarik})
 - c. $P_{nt} = 3801,32 \times 196 \times 0,8 = 596046,97 \text{ N} = 59,61 \text{ ton}$
 - d. $P_{nt} > P_{tension} = 88,2 \text{ ton} > 59,61 \text{ ton} \quad \textbf{(OK)}$

2. Panjang penyaluran tulangan steel pile ke dalam poer (**10 – D22, L=300mm**) yang diperlukan:

a. $P_{\text{tension}} = 53,621 \text{ t} = 536210 \text{ N}$

b. $L = \frac{P_{\text{tension}}}{n \cdot \pi \cdot d \cdot f_r} < L_{\text{pasang}} = 300 \text{ mm}$

c. Dimana $f_r = 0.7 \sqrt{f'c}$ (SNI 2847 2002, 11.5.2)
 $= 0.7 \sqrt{29,05} = 3,77 \text{ Mpa}$

d. $L = \frac{P_{\text{tension}}}{n \cdot \pi \cdot d \cdot f_r} = \frac{536210}{10 \times 3.14 \times 22 \times 3,77} = 205,89 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$

Kontrol kemampuan beton pada pile menerima tarik

Sambungan antara steel pile dan pelat menggunakan beton mutu K300. Jadi mutu beton yang digunakan harus dicek terhadap gaya tarik (*tension*) aktual yang terjadi.

Tegangan beton yang diijinkan untuk menerima tarik pada pembebanan tetap beton K300 adalah:

$$\sigma_b = 0.48 \sqrt{\sigma_{bk}} = 0.48 \sqrt{300} = 9 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan tarik ijin diatas yang akan digunakan untuk mengontrol gaya tarik aksial pada beton.

Allowable tension force $\sigma_{bi} = \sigma_b \cdot A_s$, dimana:

A_s = Luas selimut bagian dalam beton penutup pile

$$A_s = \pi D \cdot h$$

$$A_s = 3.14 \times 70 \text{ cm} \times 120 \text{ cm} = 26376 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{bi} = \sigma_b \cdot A_s$$

$$= 9 \text{ kg/cm}^2 \times 26376 \text{ cm}^2 = 237384 \text{ kg} = 237,384 \text{ Ton}$$

$\sigma_{bi} > \text{Actual Tension Force}$

237,384 Ton > 53,621 ton **(OK)**

Kontrol kekuatan tulangan dan beton pada sambungan antara tiang pancang dan poer dalam menerima gaya geser

Gaya horisontal maksimum (*Shear Force*) pada tiang pancang 3,329 ton = 33290 N. Dan asumsi kondisi terkritik dari reaksi boulder = 50 ton langsung ke pile.

Maka, beberapa hal yang perlu dikontrol :

1. Kekuatan tulangan di dalam steel pile (***I0 – D22***)
 - a. $P_{nt} = A_s \cdot n \cdot f_y \cdot \phi$ ($f_y = 196 \text{ Mpa}$)
 - b. Dimana $\phi = 0.75$ (*shear reduction factor*)
 - c. $P_{nt} = 3801,32 \times 196 \times 0,75 = 558794,04 \text{ N} = 55,8 \text{ ton}$
 - d. $55,8 \text{ ton} > 50 \text{ ton}$ (**OK**)
2. Tegangan geser beton dan pelat, serta kekuatan beton menerima gaya horisontal.

Kekuatan beton disekeliling tulangan = $n \times L \times d \times f_c$

Dimana:

$f_c' = 29,05 \text{ Mpa}$

L = panjang tul. di atas pile

$= (750-500) \text{ mm} = 250 \text{ mm}$

Kekuatan beton terhadap gaya horisontal (*Shear Force*)

$= 10 \times 250 \text{ mm} \times 22 \text{ mm} \times 29,05 \text{ Mpa}$

$= 1597750 \text{ N} > 500000 \text{ N}$

6.4 PERHITUNGAN BREASTING DOLPHIN

6.4.1 Umum

Breasting Dolpin merupakan bagian dari dermaga yang berfungsi sebagai tempat sandaran kapal. Sebelum menghitung struktur ini, maka terlebih dahulu harus menentukan gaya – gaya yang bekerja, yaitu gaya akibat berat sendiri, reaksi fender, dan beban gempa.

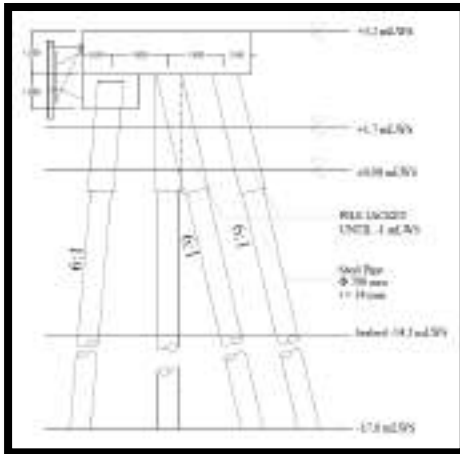
6.4.2 Perencanaan Struktur

6.4.2.1 Perencanaan Layout *Breasting Dolphin*

Dalam tugas akhir ini, *breasting dolphin* direncanakan dengan konfigurasi sebagai berikut :

- Bentuk : Persegi, dengan dimensi 4,8 x 4,8 m
- Tebal : 1,2 m
- Kemiringan : 6:1

Layout Breasting dolphin dapat dilihat pada (**Gambar 6.12**)



a. Beban Mati

Beban mati akibat berat sendiri struktur

Berat jenis beton bertulang diambil sebesar 2.9 t/m³. Untuk berat sendiri poer dan berat sendiri steel pile sudah terakumulasi secara otomatis oleh program SAP 2000 V14.0.0 dan diidentifikasi sebagai beban mati.

Beban mati terpusat (*Point load*)

Akibat catwalk 1 = 8,49 ton

Berat Fender = 0,606 ton

Beban mati terbagi rata

Akibat finishing setebal $t = 5\text{cm} = 0,145 \text{ ton/m}^2$

b. Beban Hidup**Beban hidup vertikal terbagi rata**

Akibat air hujan 5cm sebesar = 0,05 ton/m^2

Beban pangkalan (*Base load*) = 2 ton/m^2

c. Beban Horisontal**Beban reaksi fender**

Beban reaksi fender berupa adanya tumbukan dari kapal terhadap fender sebesar 49,5 ton dan diidentifikasi sebagai beban hidup.

d. Beban Gempa

Lokasi dermaga TPPI terletak di kabupaten Tuban yang berada pada wilayah gempa 2. Perhitungan gaya gempa dihitung dengan cara respon spektrum dinamis pada program SAP2000 V14.0.0.

6.4.2.3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang dipakai dalam perencanaan struktur *breasting dolphin* ini adalah :

$$1,0D + 1,0L$$

$$1,0D + 1,0L + 1,0F$$

$$1,0D + 0,5L + G_x + 0,3G_y$$

$$1,0D + 0,5L + 0,3G_x + G_y$$

Dimana:

D = beban mati dan berat sendiri struktur

L = beban hidup merata pada struktur

F = beban reaksi fender

G_x = beban gempa arah X

G_y = beban gempa arah Y

6.4.2.4 Permodelan SAP Breasting Dolphin

Untuk permodelan SAP breasting dolphin dapat dilihat pada (Gambar 6.13) dan (Gambar 6.14).



Gambar 6. 13 Beban Fender pada Breasting Dolphin



Gambar 6. 14 Rencana 3D Breasting Dolphin

6.4.3 Perhitungan Pondasi

Pada perencanaan struktur *breasting dolphin* ini, tiang pancang yang digunakan tiang pancang miring dan tegak. Untuk tiang pancang miring direncanakan dengan kemiringan 6:1. Pondasi yang digunakan untuk dermaga TPPI adalah tiang baja.

Data Tiang Pancang :

D1 = 700 mm	W	= 237 kg/m
D2 = 672 mm	i	= 24,3 cm
t = 14 mm	E	= 2100000 kg/cm ²
A = 301,70 cm ²	Yield Strength (fy)	= 1960 kg/cm ²
I = 176000 cm ⁴	Tensile Strength (fu)	= 4900 kg/cm ²
Z = 5070 cm ³		

Untuk jenis tanah batuan keras dengan asumsi *submerged soil*, besarnya titik jepit tiang menggunakan persamaan :

$$Z_f = 1,8T$$

Dengan $T = \sqrt[5]{EI/nh}$; nh diambil sebesar 12000 kN/m³ = 1.200.000 kg/m³

$$\text{Sehingga } T = \sqrt[5]{\frac{2100000 \times 0,00176 \text{ m}^4}{1200000}} = 1,98 \text{ m}$$

- *Point of Virtual Fixity (Zf)* = 1,8 x 1,98
= 3,6 m (dibawah *seabed*)
- Tinggi Struktur = 14,2 m (diatas *seabed*)
- Tinggi Struktur (dari *Zf*) = 3,6 m + 14,2 m
= 17,8 m

Rekapitulasi gaya dalam yang terjadi pada tiang pancang dapat dilihat pada (**tabel 6.7**) di bawah ini.

Tabel 6. 7 Rekapitulasi Gaya Dalam Tiang Pancang

Tiang	Load	Output Case	Value		Frame
Tegak	P (tekan)	DL+LL+F	63,98	Ton	9
	P (tarik)	DL+LL+Gx+0,3Gy	33,68	Ton	9
	V	DL+LL+F	2,69	Ton	9
	M	DL+LL+F	25,397	Tm	9
Miring	P (tekan)	DL+LL+F	24,819	Ton	7
	P (tarik)	DL+LL+F	62,264	Ton	5
	V	DL+LL+0,3Gx+Gy	0,817	Ton	3
	M	DL+LL+F	21,69	Tm	6
	U		0.00133	m	3

Tiang Pancang Tegak:**Perencanaan tiang tekan**

Berdasarkan tabel di atas, diambil nilai P_{tekan} terbesar dengan nilai 63,98 ton, sehingga :

$$Q_u = 3 \times 63,98 = 191,94 \text{ ton}$$

Dengan menggunakan grafik daya dukung tanah, kedalaman tiang yang dibutuhkan untuk memikul gaya ini adalah sedalam -18 m dari *seabed* atau -29 mLWS.

Perencanaan tiang tarik

Berdasarkan tabel di atas, diambil nilai P_{tarik} terbesar dengan nilai 33,68 ton, sehingga :

$$Q_u = 2,5 \times 33,68 = 84,2 \text{ ton}$$

Dengan menggunakan grafik daya dukung tanah, kedalaman tiang yang dibutuhkan untuk memikul gaya ini adalah sedalam -19 m dari *seabed* atau -30 mLWS, dapat dilihat pada **(Grafik 6.2)**



Grafik 6. 2 Grafik Daya Dukung Tanah untuk Breasting Dolphin Tiang Tegak

Maka perencanaan untuk kedalaman tiang pancang tegak dari *breasting dolphin* ini menggunakan perhitungan grafik daya dukung tanah -30 mLWS.

Tiang Pancang Miring:
Perencanaan tiang tekan

Berdasarkan tabel di atas, diambil nilai P_{tekan} terbesar dengan nilai 24,819 ton, sehingga :

$$Q_u = 3 \times 24,819 = 74,457 \text{ ton}$$

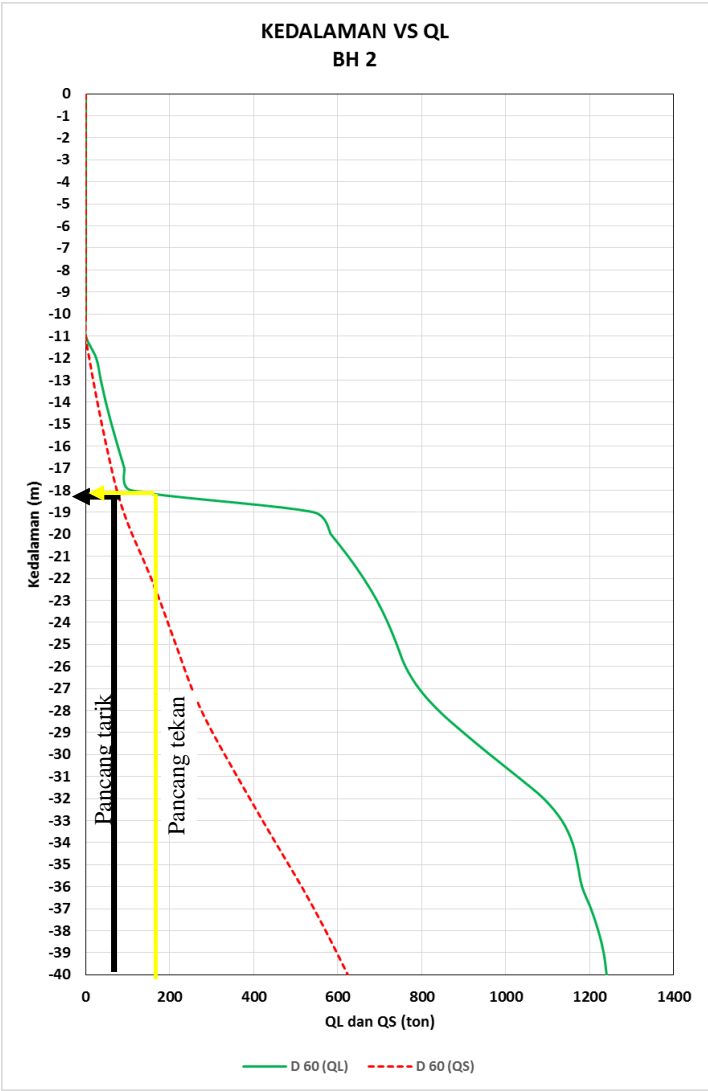
Dengan menggunakan grafik daya dukung tanah, kedalaman tiang yang dibutuhkan untuk memikul gaya ini adalah sedalam -18,6 m dari *seabed* atau - 29,6 mLWS.

Perencanaan tiang tarik

Berdasarkan tabel di atas, diambil nilai P_{tarik} terbesar dengan nilai 62,264 ton, sehingga :

$$Q_u = 2,5 \times 62,264 = 155,66 \text{ ton}$$

Dengan menggunakan grafik daya dukung tanah, kedalaman tiang yang dibutuhkan untuk memikul gaya ini adalah sedalam -20,8 m dari *seabed* atau -31,8 mLWS, dapat dilihat pada **(Grafik 6.3)**



Grafik 6. 3 Grafik Daya Dukung Tanah untuk Breasting Dolphin Tiang Miring

Maka perencanaan untuk kedalaman tiang pancang miring dari *breasting dolphin* ini menggunakan perhitungan grafik daya dukung tanah -31,8 mLWS.

Kontrol tiang pancang terhadap korosi

Korosi tiang diasumsikan terjadi sampai tiang ditumbuhi karang yaitu selama 10 tahun. Metode perawatan digunakan dengan menyediakan alokasi tebal tiang yang akan terkorosi yaitu setebal 3 mm. Sesuai dengan aturan *OCDI* kecepatan korosi adalah 0.3 mm/tahun, sehingga :

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter rencana} &= 700 - 2 \times 3 = 694 \text{ mm} \\
 \text{Diameter dalam} &= 672 + 2 \times 3 = 678 \text{ mm} \\
 \text{Luas penampang (A)} &= 0.25 \pi (D_1^2 - D_2^2) \\
 &= 0.25 \pi (694^2 - 678^2) \\
 &= 17241,06 \text{ mm}^2 \\
 \text{Momen inersia (I)} &= 1/64 \pi (D_1^4 - D_2^4) \\
 &= 1/64 \pi (694^4 - 678^4) \\
 &= 101433,4691 \text{ cm}^4 \\
 \text{Section Modulus (S}_{xy}) &= \frac{\pi \cdot (69,4^4 - 67,8^4)}{32(69,4)} \\
 &= 2923,15 \text{ cm}^3 \\
 \text{Yield Strength (f}_y) &= 1960 \text{ kg/cm}^2 \\
 M_{ijin} &= f_y \times \text{section modulus} \\
 &= 1960 \times 2923,15 \\
 &= 5729374 \text{ kgcm} = 57,29 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

$$M_{ijin} > M_u (21,69 \text{ tm}) \quad (\text{OK})$$

Selain dengan menambahkan ketebalan 3mm pada tiang pancang, metode anoda korban juga merupakan salah satu teknik pengggulangan korosi.

Metode anoda korban yaitu pasokan electron dilakukan dengan cara menghubungkan tiang pancang pipa baja dengan

logam lain sebagai anoda korban yang memiliki potensial yang lebih rendah. Pada cara ini terjadi aliran electron dari logam dengan potensial yang lebih rendah ke tiang pancang baja yang potensial nya lebih tinggi. Dengan demikian maka tiang pancang pipa baja akan terlindung dari korosi namun sebagai konsekuensinya logam anoda dalam waktu tertentu akan rusak/habis dan selanjutnya dapat diganti atau diperbarui.

Perhitungan kalendering

Perumusan kalendering yang dipakai adalah *Alfred Hilley Formula*:

$$Qu = \frac{\alpha.W.H}{S + 0,5.C} \times \frac{W + n^2.Wp}{W + Wp}$$

Karena perhitungan dilakukan sebelum pemancangan, maka yang dihitung adalah nilai S atau penetrasi/blow, yaitu pengamatan yang dilakukan rata-rata di tiga set terakhir, dengan 10 pukulan tiap setnya. Dan disyaratkan apabila untuk kedalaman yang sama $S > S'$, maka pemancangan dihentikan.

Dimana :

S = nilai penetrasi/ blow rencana dari perhitungan

S' = nilai penetrasi/ blow saat pemancangan

Qu = 191,94 ton

W = 10 ton (*hydraulic hammer*)

H_{hammer} = 2 m, tinggi jatuh hammer untuk kondisi normal

C1 = 5 mm (*untuk hard cushion + packing*)

C2 = 10 mm (Steel Pile)

C3 = 1 mm (*Hard Ground, SPT > 50*)

C = c1 + c2 + c3 = 16 mm

Panjang tiang pancang miring yang dibutuhkan:

$$L = \sqrt{17,8^2 + \left(\frac{17,8}{6}\right)^2} = 18,04$$

$$L = 18,04 + 1,7 \text{ (pasang surut)} + 0,5 \text{ (tinggi jagaan)} = 20,24$$

$$\begin{aligned} W_p &= \text{berat tiang pancang (ton)} \\ &= \text{berat per meter} \times L \\ &= 0,237 \text{ ton/m} \times 20,24 \text{ m} = 4,79 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\alpha = 2,5 \text{ (hydraulic hammer)}$$

$$n = 0,32 \text{ (untuk compact wood cushion on steel pile)}$$

Maka,

$$191,94 = \frac{2,5 \cdot 10 \cdot 2}{S + 0,5 \cdot 0,016} \times \frac{10 + 0,32^2 \cdot 4,79}{10 + 4,79}$$

$$S = 0,1824 \text{ m} = 182,4 \text{ mm}$$

Jadi setting kalendering yang digunakan untuk tiang pancang ini adalah 182,4 mm.

Kontrol kuat tekuk / kuat axial

Tiang pancang dianggap ujungnya terjepit atau fixed headed condition, kuat tekuk tiang pancang adalah:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(Z_f + e)^2}$$

Dimana,

$$\begin{aligned} e &= \text{jarak lateral load dengan muka tanah} \\ &= 14,2 + 0,5 \text{ (tinggi jagaan)} \end{aligned}$$

$$= 14,7 \text{ m}$$

$$z_f = 3,6 \text{ m}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 2100000 \cdot 176000}{(1470 + 360)^2} = 1089254,92 \text{ kg} = 1089,254 \text{ ton}$$

$$P_{cr} > P_u \text{ (63,98 ton)} \quad \textbf{(OK)}$$

$$\text{Pile material SF} > 2$$

$$SF = \frac{Resistance}{Working Load} = \frac{1089,254}{63,98} = 17,02 > 2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol Gaya Horisontal / kuat lateral

M_u ijin = 83,484 tm (lihat: *Kontrol tiang terhadap korosi*)

$$H_u = \frac{2Mu}{(Zf + e)} \quad (\text{Tomlinson})$$

Dimana,

e = jarak lateral load dengan muka tanah

= 14,2 + 0,5 (tinggi jagaan)

= 14,7 m

zf = 3,6 m

$$H_u = \frac{2 \times 83,484}{(14,7 + 3,6)} = 9,12 \text{ ton}$$

$$H = 0,817 < H_u \quad (\text{OK})$$

Pile material $SF > 2$

$$SF = \frac{Resistance}{Working Load} = \frac{9,12}{0,817} = 11,16 > 2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol Kekuatan Bahan (Tegangan)

P = 24819 kg

M = 2169000 kgcm

A = 301,7 cm²

W = 23700 kg/cm

Standard = JIS A 5525

Type = SKK 490

Yield Strength (f_y) = 1960 kg/cm²

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A} + \frac{M}{W} = \frac{24819}{301,7} + \frac{2169000}{23700} = 173,782 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\max} < \sigma_{\text{ijin}} = 1960 \text{ kg/cm}^2$$

6.4.4 Penulangan Poer

Penulangan poer pada struktur *breasting dolphin* ini merupakan jenis poer dengan data sebagai berikut :

$$\begin{aligned} p &= 480 \text{ cm} & ; d &= 8 \text{ cm} \\ l &= 480 \text{ cm} & ; D &= 2,2 \text{ cm} \\ h &= 120 \text{ cm} & ; A_s &= 3,8 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Data bahan :

Mutu Beton :

$$\begin{aligned} K &= 300 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_{bk} &= 300 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_b &= 99 \text{ kg/cm}^2 \\ E_b &= 6400\sqrt{300} \text{ (Untuk pembebanan tetap)} \\ &= 1,1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Mutu Baja (U32) :

$$\begin{aligned} \sigma_{au} &= 1280 \text{ kg/cm}^2 & ; n &= E_a / E_b = 17,54 \\ \sigma'_a &= 2780 \text{ kg/cm}^2 \\ E_a &= 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \\ n &= \text{Angka ekivalensi antara modulus elastisitas baja dengan} \\ &\text{modulus tekan beton} \end{aligned}$$

$$n = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2,1 \times 10^6}{1,1 \times 10^5} = 17,54$$

ϕ_o = Perbandingan antara tegangan baja tarik dan n kali tegangan tekan beton di serat yang paling tertekan pada keadaan seimbang.

$$\phi_o = \frac{\sigma_a}{n \cdot \sigma_b} = \frac{2780}{17,54 \cdot 99} = 1,6$$

Perhitungan tinggi manfaat :

$$\begin{aligned} h_x &= h - d - 0,5D & = 110,9 \text{ cm} \\ h_y &= h - d - D - 0,5D & = 108,7 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dari hasil SAP2000 v.14.2.2 untuk momen pada pelat didapatkan nilai yang dapat dilihat pada (**tabel 6.8**)

Tabel 6. 8 Rekapitulasi Gaya Dalam Poer

Struktur	Load/Force	Output Case	Value	Unit	Frame
Poer	Mslab11	D+L+F	41367.86	Kgm	16
	Mslab22	D+L+F	27242.58	kgm	16

a. Penulangan Poer Arah X

$$M_x = 41367,86 \text{ kgm}$$

$h/b = 120/480 = 0,25 < 0,5$, sehingga poer ini didesain sebagai pelat dengan $\delta = 0$.

$$\phi_o = 0,904$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{110,9 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{17,54 \times 4136786 \text{ kg.cm}}{100 \text{ cm} \times 2780}}} = 5,59$$

Dengan menggunakan nilai $\delta = 0$ dan $Ca = 5,59$, dari tabel n-lentur didapat :

$$\Phi = 3,032 > \phi_o \quad (\text{OK})$$

$$100n\omega = 4,089$$

Sehingga,

$$\omega = 4,089/(100 \times 17,54) = 0,002331$$

Luas Tulangan Tarik

Dipasang :

$$\begin{aligned} As &= \omega b h \\ &= 0,002331 \times 100 \times 110,9 \\ &= 25,851 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S \text{ tulangan} &= \frac{1000 \text{ mm}}{n \text{ tulangan}} \\ &= \frac{1000 \text{ mm}}{7} = 142,85 \text{ mm} \approx 125 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D22 - 125 dengan luas (26,609 cm²)

Tulangan Samping

Luas tulangan samping diambil sebesar 10% dari luas tulangan tarik (*PBI 1971 9.3.5*).

$$Asd = 10\% \times 26,609 = 2,6609 \text{ mm}^2$$

$$S \text{ tulangan} = \frac{1000 \text{ mm}}{n \text{ tulangan}}$$

$$= \frac{1000 \text{ mm}}{2} = 500 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan D16-400 ($As_{\text{pakai}} = 4,02 \text{ mm}^2$)

b. Penulangan Poer Arah Y

$$M_y = 27242.58 \text{ kgm}$$

$h/b = 120/480 = 0,25 < 0,5$, sehingga poer ini didesain sebagai pelat dengan $\delta = 0$.

$$\phi_o = 0,904$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{108,7 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{17,54 \times 2724258 \text{ kg.cm}}{100 \text{ cm} \times 2780}}} = 6,763$$

Dengan menggunakan nilai $\delta = 0$ dan $Ca = 6,763$, dari tabel n-lentur didapat :

$$\Phi = 4,128 > \phi_o \quad (\text{OK})$$

$$100n\omega = 2,362$$

Sehingga,

$$\omega = 2,362 / (100 \times 17,54) = 0,001346$$

Luas Tulangan Tarik

Dipasang :

$$\begin{aligned} As &= \omega b h \\ &= 0,001346 \times 100 \times 108,7 \\ &= 14,63 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S \text{ tulangan} &= \frac{1000 \text{ mm}}{n \text{ tulangan}} \\
 &= \frac{1000 \text{ mm}}{4} = 142,85 \text{ mm} \approx 125 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D22 - 125 dengan luas (15,2 cm²)

Tulangan Samping :

Luas tulangan samping diambil sebesar 10% dari luas tulangan tarik (*PBI 1971 9.3.5*).

$$Asd = 10\% \times 15,2 = 1,52 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 S \text{ tulangan} &= \frac{1000 \text{ mm}}{n \text{ tulangan}} \\
 &= \frac{1000 \text{ mm}}{2} = 500 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D16-400 (*As pakai* = 4,02 mm²)

Kontrol Geser Pons

Pada struktur *breasting dolphin*, kontrol geser pons perlu dikontrol karena pada struktur ini tidak ada balok, sehingga tiang pancang langsung menumpu pada poer dan kemungkinan besar terjadi plong pada poer tersebut. Tegangan geser pons ditentukan oleh rumus:

$$\tau_{bp} = \frac{P}{\pi \cdot (c + ht) \cdot ht} \leq \tau_{bm} \quad (PBI 71 11.9.(2))$$

Dimana:

P = Gaya aksial pelat dari tiang pancang

c = Diameter tiang pancang

ht = Tinggi total pelat atau poer

τ_{bm} = Tegangan ijin beton ($0.65\sqrt{\sigma'_{bk}}$)

Sehingga:

$$\tau_{bp} = \frac{24.819 \times 10^3}{\pi \cdot (70 + 120) \cdot 120} \leq 0,65 \sqrt{300}$$

$$\tau_{bp} = 0,346 \text{ kg/cm}^2 \leq 11,3 \text{ kg/cm}^2$$

Karena geser pons yang terjadi lebih kecil dari tegangan ijin beton, maka poer dikatakan aman dari gaya pons atau keruntuhan akibat pons.

Kontrol kemampuan tulangan menahan geser

$$Ah = \frac{P}{\sigma_u \cdot \mu} < A_s \text{ (PBI '71 (11.10))}$$

Ah = luas efektif tulangan horisontal yg diperlukan
dengan $\mu = 1,4$

$$Ah = \frac{24819 \text{ kg}}{2780 \text{ kg/cm}^2 \times 1,4} = 6,37 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang dipakai 8 D16

$$n, A_s = 8 \times 0,25 \times 3,14 \times 16^2 = 1607,68 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 1607,68 \text{ mm}^2 > Ah = 6,37 \text{ mm}^2$$

$A_s > Ah$ **(OK)**

Jadi tulangan yang terpasang pada pelat mooring dolphin mampu menahan tegangan geser

Kontrol kekuatan tulangan terhadap gaya tarik pada sambungan poer dan tiang pancang

Tulangan yang berada dibagian dalam steel pile harus dicek kemampuannya dalam menahan gaya aksial (P) tarik sebesar = 62,264 ton. Bebarapa hal yang harus dicek antara lain:

1. Kekuatan tarik dari tulang yang berada didalam steel pile (**10–D22**, $f_y = 196 \text{ Mpa}$)
 - a. P_{nt} (kekuatan tarik tulangan = $A_s \cdot n \cdot f_y \cdot \emptyset$)
 - b. Dimana $\emptyset = 0.8$ (*SNI 2847 2002, 11.3.2* , \emptyset untuk axial tension atau P_{tarik})
 - c. $P_{nt} = 3801,32 \times 196 \times 0,8 = 596046,97 \text{ N} = 59,6 \text{ ton}$
 - d. $P_{nt} > P_{tension} = 59,6 \text{ ton} > 53,621 \text{ ton}$ **(OK)**

2. Panjang penyaluran tulangan steel pile ke dalam poer (*10 – D22, $L=300\text{mm}$*) yang diperlukan:
 - a. $P_{tension} = 62,264 \text{ t} = 622640 \text{ N}$
 - b. $L = \frac{P_{tension}}{n \cdot \pi \cdot d \cdot f_r} < L_{pasang} = 300 \text{ mm}$
 - c. Dimana $f_r = 0.7 \sqrt{f_c'}$ (*SNI 2847 2002, 11.5.2*)

$$= 0.7 \sqrt{29,05} = 3,77 \text{ Mpa}$$
 - d. $L = \frac{P_{tension}}{n \cdot \pi \cdot d \cdot f_r} = \frac{622640}{10 \times 3.14 \times 22 \times 3,77} = 239,08 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$

Kontrol kemampuan beton pada pile menerima tarik

Sambungan antara steel pile dan pelat menggunakan beton mutu K300. Jadi mutu beton yang digunakan harus dicek terhadap gaya tarik (*tension*) aktual yang terjadi.

Tegangan beton yang diijinkan untuk menerima tarik pada pembebanan tetap beton K300 adalah:

$$\sigma_b = 0.48 \sqrt{\sigma_{bk}} = 0.48 \sqrt{300} = 9 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan tarik ijin diatas yang akan digunakan untuk mengontrol gaya tarik aksial pada beton.

Allowable tension force $\sigma_{bi} = \sigma_b \cdot A_s$, dimana :

A_s = Luas selimut bagian dalam beton penutup pile

$$A_s = \pi D \cdot h$$

$$A_s = 3.14 \times 70 \text{ cm} \times 120 \text{ cm} = 26376 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}\sigma_{bi} &= \sigma_b \cdot A_s \\ &= 9 \text{ kg/cm}^2 \times 26376 \text{ cm}^2 = 237384 \text{ kg} = 237,384 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{bi} &> \text{Actual Tension Force} \\ 237,384 \text{ ton} &> 62,264 \text{ ton} \quad \textbf{(OK)}\end{aligned}$$

Kontrol kekuatan tulangan dan beton pada sambungan antara tiang pancang dan poer dalam menerima gaya geser

Gaya horisontal maksimum (*Shear Force*) pada tiang pancang 2,69 ton = 26900 N. Dan asumsi kondisi terkritis dari reaksi boulder = 50 ton langsung ke pile.

Maka, beberapa hal yang perlu dikontrol :

1. Kekuatan tulangan di dalam steel pile (**I4 – D22**)
 - a. $P_{nt} = A_s \cdot n \cdot f_y \cdot \emptyset$ ($f_y = 196 \text{ Mpa}$)
 - b. Dimana $\emptyset = 0.75$ (*shear reduction factor*)
 - c. $P_{nt} = 3801,32 \times 196 \times 0,8 = 596046,97 \text{ N} = 59,6 \text{ ton}$
 - d. $59,6 \text{ ton} > 50 \text{ ton}$ **(OK)**
2. Tegangan geser beton dan pelat, serta kekuatan beton menerima gaya horisontal.
 Kekuatan beton disekeliling tulangan = $n \times L \times d \times f_c$
 Dimana:
 $f_c' = 29,05 \text{ Mpa}$
 L = panjang tul. di atas pile
 $= (750-500)\text{mm} = 250 \text{ mm}$
 Kekuatan beton terhadap gaya horizontal (*Shear Force*)
 $= 10 \times 250 \text{ mm} \times 22 \text{ mm} \times 29,05 \text{ Mpa}$
 $= 1597750 \text{ N} > 500000 \text{ N}$

6.4.5 Penulangan Plank Fender

Pada perencanaan Plank Fender ini, fender dihitung sebagai struktur kantilever yang mendapat gaya-gaya dari tumbukan dan gesek kapal terhadap fender itu sendiri.

Data plank fender:

Lebar (b)	= 200 cm
Tinggi (h)	= 100 cm
t	= 160 cm
Selimut beton	= 8 cm
h_z	= $100 - d - \text{Ø geser} - 0,5 \text{ Ø tul-lentur}$ = $100 - 8 - 1,6 - (0,5 \cdot 2,9) = 88,95 \text{ cm}$
h_x	= $100 - d - 0,5 \text{ Ø tul-lentur}$ = $100 - 8 - (0,5 \cdot 2,9) = 90,55 \text{ cm}$

Data bahan:

Mutu Beton

K	= 300 kg/cm ²
σ_{bk}	= 300 kg/cm ²
σ_b	= 99 kg/cm ²
E _b	= $6400\sqrt{300}$ = $1,1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

Mutu Baja

σ_{au}	= 1280 kg/cm ²
σ'_a	= 2780 kg/cm ²
D1	= 2,9 cm (Tulangan Utama)
D2	= 1,6 cm (Tulangan Sengkang)
E _a	= $2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
n	= Angka ekivalensi antara modulus elastisitas baja dengan modulus tekan beton
n	= $\frac{E_a}{E_b} = \frac{2,1 \times 10^6}{1,197 \times 10^5} = 17,54$

ϕ_o = Perbandingan antara tegangan baja tarik dan n kali tegangan tekan beton di serat yang paling tertekan pada keadaan seimbang.

$$\phi_o = \frac{\sigma_a}{n \cdot \sigma_b} = \frac{2780}{17,54 \times 99} = 1,6$$

Momen Plank Fender

Penulangan plank fender dianalisa berdasarkan gaya fender 63,7 ton yang bekerja sejarak 1 m dari ujung plank fender yang bertumpu pada struktur dermaga. Sehingga momen maksimum pada plank fender sebesar:

$$\begin{aligned} M &= P_{\text{Fender}} \times e = 63700 \text{ Kg} \times 100 \text{ cm} \\ &= 6370000 \text{ Kgcm.} \end{aligned}$$

a. Perhitungan Tulangan Arah Z

$$Mu = 6370000 \text{ kg.cm}$$

$$Ca = \frac{hz}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{88,95}{\sqrt{\frac{17,5 \times 6370000}{100 \times 2780}}} = 3,61$$

Dengan melihat tabel Perhitungan Lentur Cara “n”, untuk Ca = 3,61 dengan $\delta = 0$, didapatkan :

$$\delta = 0 \rightarrow \phi = 1,985 > \phi_o \quad (\text{OK})$$

$$100n\omega = 9,080$$

Luas Tulangan yang diperlukan:

Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} A &= \omega \times b \times h \\ &= \frac{9,080}{100 \times 17,5} \times 100 \times 88,95 \\ &= 46,15 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{tulangan}} &= \frac{1000 \text{ mm}}{n_{\text{tulangan}}} \\
 &= \frac{1000 \text{ mm}}{7} = 142,85 \text{ mm} \approx 125 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D29 - 125 dengan luas (46,2 cm²)

Tulangan Samping :

Luas tulangan samping diambil sebesar 10% dari luas tulangan tarik (*PBI 1971 9.3.5*).

$$A_{sd} = 10\% \times 46,2 = 4,62 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{tulangan}} &= \frac{1000 \text{ mm}}{n_{\text{tulangan}}} \\
 &= \frac{1000 \text{ mm}}{2} = 500 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D22-500 ($A_{s \text{ pakai}} = 7,06 \text{ mm}^2$)

Kontrol Retak

Berdasarkan (*PBI 1971 pasal 10.7.1b*) retak yang diijinkan 0,01 cm. Dengan menggunakan (*tabel 10.7.1 PBI 1971*) maka didapatkan :

$$w = \alpha(C_3 \times c + C_4 \times \frac{d}{\omega_p})(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p})10^{-6}$$

dimana nilai ω_p dan σ_a didapat dari rumus berikut untuk balok persegi yang menerima lendut murni.

$$\omega_p = \frac{A_{s \text{ pakai}}}{b \cdot h} = \frac{46,2}{100 \times 88,95} = 0,0051$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\phi} = \frac{2780}{0,915} = 3038,25$$

Dari (*tabel 10.7.1 PBI '71*) diperoleh nilai nilai koefisien C sebagai berikut: $C_3 = 1,5$; $C_4 = 0,16$; $C_5 = 30$

Berat baja tulangan per meter adalah $W_{\text{bar}} = 2,985 \text{ Kg/m}$;
 $d = 12,8 \sqrt{W_{\text{bar}}} = 12,8 \sqrt{5,185} = 29,146 \text{ mm} = 2,92 \text{ cm}$

$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) 10^{-6} \quad (\text{cm})$$

$$w = 1 \left(1,50 \cdot 8 + 0,16 \cdot \frac{2,9}{0,0051} \right) \left(3038,25 - \frac{30}{0,0051} \right) 10^{-6} (\text{cm})$$

$$w = -0,41 < 0,01 \text{ cm} \quad (\text{OK})$$

b. Perhitungan Tulangan Arah X

$$M_u = 6370000 \text{ kg.cm}$$

$$C_a = \frac{hx}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{90,55}{\sqrt{\frac{17,5 \times 6370000}{100 \times 2780}}} = 3,68$$

Dengan melihat tabel Perhitungan Lentur Cara “n”, untuk $C_a = 3,68$ dengan $\delta = 0$, didapatkan:

$$\delta = 0 \rightarrow \phi = 2,003 > \phi_0 \quad (\text{OK})$$

$$100n\omega = 8,312$$

Luas Tulangan yang diperlukan:

Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} A &= \omega \times b \times h \\ &= \frac{8,312}{100 \times 17,5} \times 100 \times 90,55 \\ &= 43 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S \text{ tulangan} &= \frac{1000 \text{ mm}}{n \text{ tulangan}} \\ &= \frac{1000 \text{ mm}}{7} = 142,85 \text{ mm} \approx 125 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D29 - 125 dengan luas ($46,2 \text{ cm}^2$)

Tulangan Samping :

Luas tulangan samping diambil sebesar 10% dari luas tulangan tarik (*PBI 1971 9.3.5*).

$$Asd = 10\% \times 46,2 = 4,62 \text{ mm}^2$$

$$S \text{ tulangan} = \frac{1000 \text{ mm}}{n \text{ tulangan}}$$

$$= \frac{1000 \text{ mm}}{2} = 500 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan D22-500 ($As_{\text{pakai}} = 7,06 \text{ mm}^2$)

Kontrol Retak

Berdasarkan (*PBI 1971 pasal 10.7.1b*) retak yang diijinkan 0,01 cm. Dengan menggunakan (*tabel 10.7.1 PBI 1971*) maka didapatkan :

$$w = \alpha \left(C_3 \times c + C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) 10^{-6}$$

$$\omega_p = \frac{As_{\text{pakai}}}{b \cdot h} = \frac{46,2}{100 \times 90,55} = 0,0051$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\phi} = \frac{2780}{0,915} = 3038,25$$

Dari (*tabel 10.7.1 PBI '71*) diperoleh nilai nilai koefisien C sebagai berikut: $C_3 = 1,5$; $C_4 = 0,16$; $C_5 = 30$

Berat baja tulangan per meter adalah $W_{\text{bar}} = 2,985 \text{ Kg/m}$;

$$d = 12,8 \sqrt{W_{\text{bar}}} = 12,8 \sqrt{5,185} = 29,146 \text{ mm} = 2,92 \text{ cm}$$

$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) 10^{-6} \quad (cm)$$

$$w = 1 \left(1,50 \cdot 8 + 0,16 \cdot \frac{2,9}{0,0051} \right) \left(3038,25 - \frac{30}{0,0051} \right) 10^{-6} \quad (cm)$$

$$w = -0,41 < 0,01 \text{ cm} \quad (\text{OK})$$

6.5 PERHITUNGAN LOADING PLATFORM

6.5.1 Umum

Loading Platform adalah bagian struktur jetty yang berfungsi sebagai tempat peralatan untuk bongkar, seperti *marine loading arm*, *pipa*, *tower gangway*, dll. Bagian-bagian dari struktur *unloading platform* yang direncanakan adalah (*Preliminary Design*) :

- Panjang Dermaga : 24 m
- Lebar Dermaga : 18 m
- Tinggi Pile Cap : 1 m
- Dimensi Pile Cap : 1,4 m x 1,4 m
- Dimesi Balok Beton Bertulang (memanjang dan melintang) : 0,6 m x 0,9 m
- Tebal Pelat Beton Bertulang : 0,3 m
- Spesifikasi Tiang Pancang : Steel Pipe Pile
Ø700 mm t = 14 mm
- Elevasi dasar dermaga : -11 mLWS
- Tinggi Struktur (dari sea bed) : 14,2 m
- Tinggi Struktur (dari *Zf*) : 17,8 m
- *Point of Virtual Fixity* (*Zf*) : 3,6 m (dibawah seabed)

6.5.2 Pembebanan Struktur Loading Platform

a. Beban Mati

Beban Mati Akibat Berat Sendiri Struktur

Berat jenis beton bertulang diambil sebesar 2.9 t/m³.

Beban Mati Terpusat (*Point load*)

Beban marine loading arm	= 36 ton
Beban fire monitor tower	= 0,167 ton
Beban jib crane	= 2,9 ton
Beban tower gangway	= 27 ton
Beban pipa dan muatan	= 0,915 ton
Beban catwalk 1	= 8,49 ton

Beban mati terbagi rata

Akibat finishing setebal $t = 5\text{ cm}$ $= 0,145 \text{ ton/m}^2$

b. Beban Hidup**Beban hidup vertikal terbagi rata**

Akibat air hujan 5cm sebesar $= 0,05 \text{ ton/m}^2$

Beban pangkalan $= 2 \text{ ton/m}^2$

c. Beban Gempa

Lokasi dermaga TPPI terletak di kabupaten Tuban yang berada pada wilayah gempa 2. Perhitungan gaya gempa dihitung dengan cara respon spektrum dinamis pada program SAP2000 V14.0.0.

6.5.3 Kombinasi Pembebanan

Adapun kombinasi pembebanan yang direncanakan pada *loading platform* adalah sebagai berikut :

$D + L$

$D + P$

$D + 0.5 L + G_x + 0.3 G_y$

$D + 0.5 L + 0.3 G_x + G_y$

$D + L + P + G_x$

$D + L + P + G_y$

Dimana :

D : beban mati dari berat beton

L : beban hidup dari berat pangkalan dan air hujan

P : beban dari MLA, TG, FM, JC, pipa dan catwalk

GX : beban dari gempa arah X

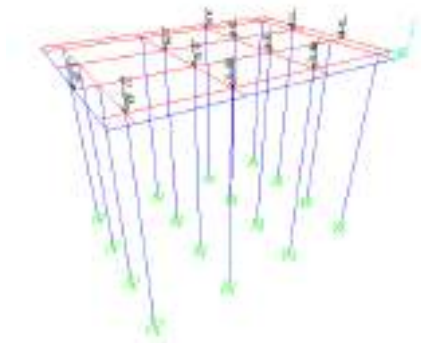
GY : beban gempa arah Y

6.5.4 Permodelan Struktur SAP Loading Platform

Untuk permodelan SAP loading platform dapat dilihat pada **(Gambar 6.15)** dan **(Gambar 6.14)**.



Gambar 6. 15 Rencana 3D Loading Platform



Gambar 6. 16 Beban MLA, Pipa, Catwalk, JC, FM, TG

Untuk hasil rekapitulasi perhitungan struktur loading platform dapat dilihat pada (**tabel 6.9**)

Tabel 6. 9 Rekapitulasi Perhitungan Struktur Loading Platform

STRUKTUR	FORCE	OUTPUT CASE	VALUE	UNIT	Frame
BALOK MELINTANG 60 x 90	M tump	D + P	23799,9	Kgf-m	93
	M lap	D + P	3216,1	Kgf-m	92
	GAYA GESER	D + L + P + Gx	8796,97	Kgf	93
	TORSI	D + 0.5L + 0.3Gx + Gy	5257,59	Kgf-m	106
BALOK MEMANJANG 60 x 90	M tump	D + P	10130,2	Kgf-m	63
	M lap	D + P	4594,27	Kgf-m	65
	GAYA GESER	D + P	5779,17	Kgf	63
	TORSI	D + P	1376,68	kgf-m	51
TIANG PANCANG TEGAK D70	P (TEKAN)	D + P	76296,76	Kgf	7
		D + L + P + Gx	26659,64	Kgf	3
	P (TARIK)				
	GAYA GESER	D + 0,5L + 0,3Gx + Gy	706,5	Kgf	9
	MOMEN	D + 0.5L + 0.3Gx + Gy	6422,04	Kgf-m	9
	DEFORMASI	-	0,000318	m	13

6.5.5 Perhitungan Pondasi

Pondasi yang digunakan dalam *loading platform* menggunakan *steel pipe pile*. Untuk jenis tiang pancang yang digunakan hanya tiang pancang tegak, untuk tiang pancang miring tidak digunakan karena gaya gempa pada kota Tuban tidak terlalu besar.

Titik Jepit Tiang Pancang

Data Tiang Pancang :

D1 = 700 mm	W	= 237 kg/m
D2 = 672 mm	i	= 24,3 cm
t = 14 mm	E	= 2100000 kg/cm ²
A = 301,70 cm ²	Yield Strength (fy)	= 1960 kg/cm ²
I = 176000 cm ⁴	Tensile Strength (fu)	= 4900 kg/cm ²
Z = 5070 cm ³		

Untuk jenis tanah batuan keras dengan asumsi *submerged soil*, besarnya titik jepit tiang menggunakan persamaan :

$$Z_f = 1,8T$$

$$\text{Dengan } T = \sqrt[5]{EI/nh} ; nh \text{ diambil sebesar } 12000 \text{ kN/m}^3 \\ = 1.200.000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Sehingga } T = \sqrt[5]{\frac{2100000 \times 0,00176 \text{ m}^4}{1200000}} \\ = 1,98 \text{ m}$$

- *Point of Virtual Fixity (Zf)* = 1,8 x 1,98
= 3,6 m (dibawah *seabed*)
- Tinggi Struktur = 14,2 m (diatas *seabed*)
- Tinggi Struktur (dari *Zf*) = 3,6 m + 14,2 m
= 17,8 m

Rekapitulasi gaya dalam yang terjadi pada tiang pancang dapat dilihat pada (**tabel 6.10**) di bawah ini.

Tabel 6. 10 Rekapitulasi Gaya Dalam Tiang Pancang

Tiang	Beban	Kombinasi	Besar		Frame
Tegak	P (tekan)	D + P	76296,76	Kgf	7
	P (tarik)	D + L + P + Gx	26659,64	Kgf	3
	V	D + 0,5L + 0,3Gx + Gy	706,5	Kgf	9
	M	D + 0,5L + 0,3Gx + Gy	6422,04	Kgf-m	9

Perencanaan tiang tekan

Berdasarkan tabel di atas, diambil nilai P_{tekan} terbesar dengan nilai 63,98 ton, sehingga :

$$Q_u = 3 \times 76,286 = 228,85 \text{ ton}$$

Dengan menggunakan grafik daya dukung tanah, kedalaman tiang yang dibutuhkan untuk memikul gaya ini adalah sedalam -18,3 m dari *seabed* atau -29,3 mLWS.

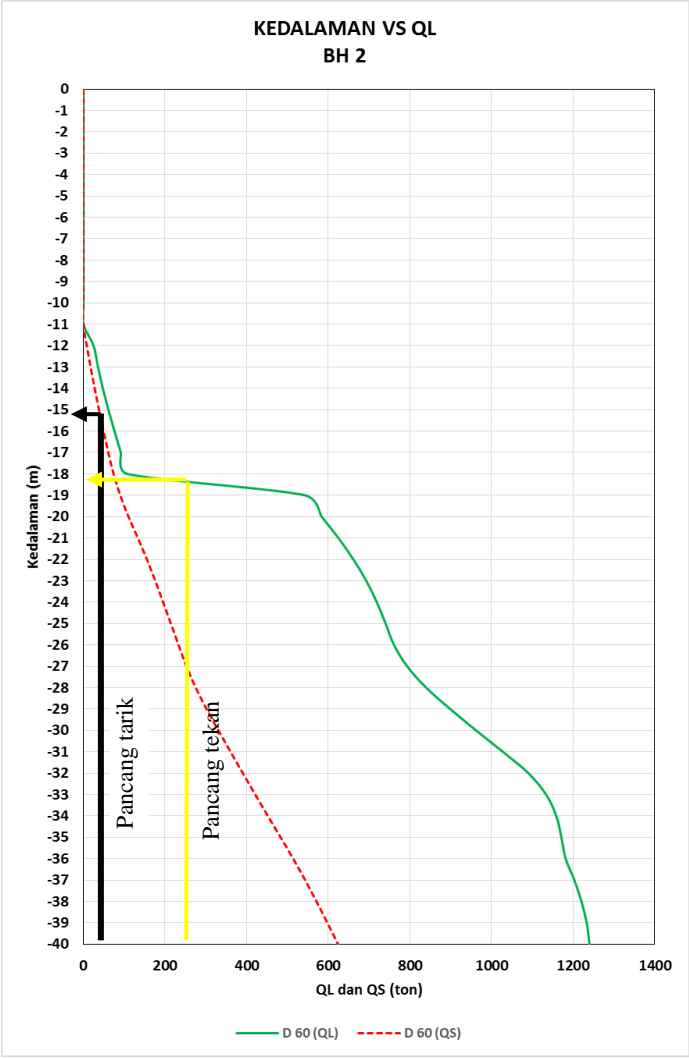
Perencanaan tiang tarik

Berdasarkan tabel di atas, diambil nilai P_{tarik} terbesar dengan nilai 62,264 ton, sehingga :

$$Q_u = 2,5 \times 26,659 = 66,647 \text{ ton}$$

Dengan menggunakan grafik daya dukung tanah, kedalaman tiang yang dibutuhkan untuk memikul gaya ini adalah sedalam -15,3 m dari *seabed* atau -26,3 mLWS.

Untuk grafik daya dukung tanah berdasarkan tiang pancang rencana dapat dilihat pada (**Grafik 6.4**)



Grafik 6. 4 Grafik Daya Dukung Tanah untuk Loading Platform

Maka perencanaan untuk kedalaman tiang pancang dari *loading platform* ini menggunakan perhitungan grafik daya dukung tanah -29,3 mLWS.

Kontrol Korosi Tiang Pancang Tegak

Korosi tiang pancang tegak diasumsikan terjadi sampai tiang ditumbuhi karang yaitu selama 10 tahun. Metode perawatan yang digunakan dengan menyediakan alokasi tebal tiang yang terkorosi yaitu setebal 3 mm. sesuai dengan aturan *OCDI* kecepatan korosi adalah 0,3 mm/tahun, sehingga :

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter rencana} &= 700 - 2 \times 3 = 694 \text{ mm} \\
 \text{Diameter dalam} &= 672 + 2 \times 3 = 678 \text{ mm} \\
 \text{Luas penampang (A)} &= 0.25 \pi (D1^2 - D2^2) \\
 &= 0.25 \pi (694^2 - 678^2) \\
 &= 17241,06 \text{ mm}^2 \\
 \text{Momen inersia (I)} &= 1/64 \pi (D1^4 - D2^4) \\
 &= 1/64 \pi (694^4 - 678^4) \\
 &= 101433,4691 \text{ cm}^4 \\
 \text{Section Modulus (S}_{xy}) &= \frac{\pi \cdot (69,4^4 - 67,8^4)}{32(69,4)} \\
 &= 2923,15 \text{ cm}^3 \\
 \text{Yield Strength (f}_y) &= 1960 \text{ kg/cm}^2 \\
 M_{ijin} &= f_y \times \text{section modulus} \\
 &= 1960 \times 2923,15 \\
 &= 5729374 \text{ kgcm} = 57,29 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

$$M_{ijin} > M_u (6,422 \text{ tm}) \quad \textbf{(OK)}$$

Selain dengan menambahkan ketebalan 3mm pada tiang pancang, metode anoda korban juga merupakan salah satu teknik pengggulangan korosi.

Metode anoda korban yaitu pasokan electron dilakukan dengan cara menghubungkan tiang pancang pipa baja dengan

logam lain sebagai anoda korban yang memiliki potensial yang lebih rendah. Pada cara ini terjadi aliran electron dari logam dengan potensial yang lebih rendah ke tiang pancang baja yang potensial nya lebih tinggi. Dengan demikian maka tiang pancang pipa baja akan terlindung dari korosi namun sebagai konsekuensinya logam anoda dalam waktu tertentu akan rusak/habis dan selanjutnya dapat diganti atau diperbarui.

Perhitungan Kalendering

Perumusan kalendering yang dipakai adalah *Alfred Hilley Formula*:

$$Qu = \frac{\alpha \times W \times H}{S + 0,5C} \times \frac{W + (n^2 \times Wp)}{W + Wp}$$

Karena perhitungan dilakukan sebelum pemancangan, maka yang dihitung adalah nilai s atau penetrasi / blow, yaitu pengamata yang dilakukan rata – rata di tiga set terakhir, dengan 10 pukulan tiap setnya. Dan diisyaratkan apabila untuk kedalaman yang sama $S > S'$ maka pemancangan dihentikan.

Dimana :

S = nilai penetrasi/ blow rencana dari perhitungan

S' = nilai penetrasi/ blow saat pemancangan

Qu = 228,85 ton

W = 10 ton (*Hydrolic Hammer*)

H_{hammer} = 2 m, tinggi jatuh hammer untuk kondisi normal

$C1$ = 5 mm (*untuk hard cushion + packing*)

$C2$ = 10 mm (*Untuk Steel Pile*)

$C3$ = 1 mm (*Hard Ground, SPT > 50*)

C = $c1 + c2 + c3$ = 16 mm

Panjang tiang pancang tegak yang dibutuhkan:

L = 17,8 + 1,7 (tinggi pasang surut) + 0,5 (tinggi jagaan)
= 20 m

$$\begin{aligned}
 W_p &= \text{berat tiang pancang (ton)} \\
 &= \text{berat per meter} \times L \\
 &= 0,237 \text{ ton/m} \times 20 \text{ m} = 4,74 \text{ ton} \\
 \alpha &= 2,5 \text{ (hydrolic hammer)} \\
 n &= 0,32 \text{ (untuk compact wood cushion on steel pile)}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$Q_u = \frac{\alpha \cdot W \cdot H}{S + 0,5 \cdot C} \times \frac{W + n^2 \cdot W_p}{W + W_p}$$

$$228,85 = \frac{2,5 \cdot 10 \cdot 2}{S + 0,5 \cdot 0,016} \times \frac{10 + 0,32^2 \cdot 4,74}{10 + 4,74}$$

$$S = 0,134 \text{ m} = 134 \text{ mm}$$

Jadi setting kalendering yang digunakan untuk tiang pancang ini adalah 134 mm.

Kontrol kuat tekuk / kuat axial

Tiang pancang dianggap ujungnya terjepit atau fixed headed condition, kuat tekuk tiang pancang adalah:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(Z_f + e)^2}$$

Dimana,

$$\begin{aligned}
 e &= \text{jarak lateral load dengan muka tanah} \\
 &= 14,2 + 0,5 \text{ (tinggi jagaan)} \\
 &= 14,7 \text{ m} \\
 z_f &= 3,6 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 2100000 \cdot 176000}{(1470 + 360)^2} = 1089254,92 \text{ kg} = 1089,254 \text{ ton}$$

$$P_{cr} > P_u \text{ (76,296 ton)} \quad \textbf{(OK)}$$

$$\text{Pile material SF} > 2$$

$$SF = \frac{\text{Resistance}}{\text{Working Load}} = \frac{1089,254}{76,296} = 14,27 > 2 \quad \textbf{(OK)}$$

Kontrol Gaya Horizontal / kuat lateral

M_u ijin = 83,484 tm (lihat: *Kontrol tiang terhadap korosi*)

$$H_u = \frac{2Mu}{(Zf + e)} \text{ (Tomlinson)}$$

Dimana,

e = jarak lateral load dengan muka tanah

$$= 14,2 + 0,5 \text{ (tinggi jagaan)}$$

$$= 14,7 \text{ m}$$

$$zf = 3,6 \text{ m}$$

$$H_u = \frac{2 \times 83,484}{(14,7 + 3,6)} = 9,12 \text{ ton}$$

$$H = 0,706 < H_u \quad \textbf{(OK)}$$

$$\text{Pile material SF} > 2$$

$$SF = \frac{\text{Resistance}}{\text{Working Load}} = \frac{9,12}{0,706} = 12,9 > 2 \quad \textbf{(OK)}$$

Kontrol Kekuatan Bahan (Tegangan)

$$P = 76296,76 \text{ kg}$$

$$M = 642204 \text{ kgcm}$$

$$A = 301,7 \text{ cm}^2$$

$$W = 23700 \text{ kg/cm}$$

$$\text{Standard} = \text{JIS A 5525}$$

$$\text{Type} = \text{SKK 490}$$

$$\text{Yield Strength (fy)} = 1960 \text{ kg/cm}^2$$

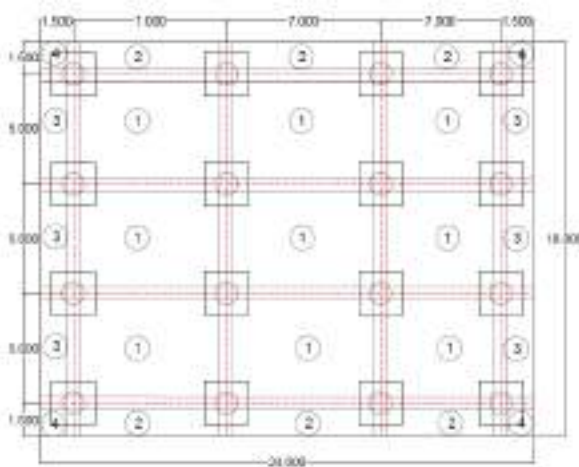
$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A} + \frac{M}{W} = \frac{76296,76}{301,7} + \frac{642204}{23700} = 279,98 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\max} < \sigma_{\text{ijin}} = 1960 \text{ kg/cm}^2$$

6.5.6 Perencanaan Pelat

6.5.6.1 Penentuan Tipe Pelat

Penentuan tipe pelat didasarkan pada ukuran pelat itu sendiri (**Gambar 6.17**). Beberapa tipe pelat dengan rasio l_y/l_x yang melebihi 2,5 (pelat II, III, dan IV), perencanaan momen dan penulangannya digunakan penulangan praktis dengan mengikuti tulangan pelat didekatnya. Hal ini dikarenakan pelat-pelat tersebut memiliki rasio $l_y/l_x > 2,5$ relatif lebih kecil dari pelat lainnya sehingga tidak begitu berpengaruh.



Gambar 6. 17 Tipe Pelat Loading Platform

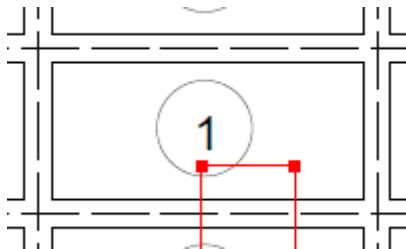
Pelat Tipe I

$$\begin{array}{lll} L_y & = 7 - 0,6 & = 6,4 \text{ m} \\ L_x & = 5 - 0,6 & = 4,4 \text{ m} \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{lll} L_y & = 7 - 0,6 & = 6,4 \text{ m} \\ L_x & = 5 - 0,6 & = 4,4 \text{ m} \end{array}} \right\} L_y/l_x = 1,4$$

6.5.6.2 Pembebanan Pelat

Dalam perencanaan pelat digunakan berupa beban mati terbagi rata persatuan luas, beban hidup persatuan luas, dan beban mati garis persatuan luas dan beban mati terpusat. Berikut ini adalah besarnya beban pada loading platform:

1. Beban mati akibat berat sendiri beton bertulang (QD)
 $QD = \text{berat jenis beton bertulang} \times \text{tebal pelat}$
 $= 2,9 \times 0,3 = 0,87 \text{ t/m}^2$
2. Beban hidup akibat hujan dan berat pangkalan (QL)
 $QL = \text{beban pangkalan} + \text{beban hujan}$
 $= 2 + 0,05 = 2,05 \text{ t/m}^2$
3. Beban mati terpusat akibat *tower gangway* (PG)



Gambar 6. 18 Beban Mati Terpusat Akibat Tower Gangway

PG diambil dari distribusi beban dengan ukuran kaki 20 cm x 20 cm dan kaki yang menumpu di pelat sejumlah 1 titik sehingga beban perkaknya adalah 6,75 t.

6.5.6.3 Perhitungan Momen Pelat

Adapun rumusan untuk menghitung momen pelat adalah sebagai berikut:

$$Q = QD + QL$$

Dimana,

Q = Momen pelat (kg/cm^2)

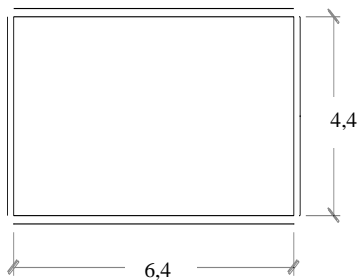
QD = beban mati akibat berat sendiri = $0,87 \text{ t/m}^2$

QL = beban hidup = $2,05 \text{ t/m}^2$

Maka,

$$QU = 0,87 + 2,05 = 2,92 \text{ t/m}^2$$

Perhitungan momen pelat tipe I (**Gambar 6.19**)



Gambar 6. 19 Pelat Tipe I

Pelat direncanakan terjepit penuh dengan balok keempat sisinya. Dari (*tabel 13.3.1 PBI 1971*) dapat ditentukan koefisien x untuk pelat terjepit penuh pada keempat sisinya yang dapat dilihat pada (**tabel 6.11**)

Tabel 6. 11 Koefisien x

Ly (m)	Lx (m)	Ly/Lx	koefisien X			
			Mlx	Mly	Mtx	Mty
6,4	4,4	1,4 (pelat dua arah)	34	18	73	57

(Sumber: PBI'71)

Berdasarkan PBI 1971 perhitungan momen pada pelat tipe I adalah sebagai berikut :

$$Ml = -Mt = 0,001 (Q \times lx^2 \times X)$$

Momen pelat

- Momen lapangan

$$Mlx = 0,001 \times 2,92 \times 4,4^2 \times 34 = 2,846 \text{ tm}$$

$$Mly = 0,001 \times 2,92 \times 4,4^2 \times 18 = 1,506 \text{ tm}$$

- Momen tumpuan

$$Mtx = -0,001 \times 2,92 \times 4,4^2 \times 73 = -6,111 \text{ tm}$$

$$Mty = -0,001 \times 2,92 \times 4,4^2 \times 57 = -4,771 \text{ tm}$$

Momen akibat Tower Gangway (P = 6,75 t)

Berdasarkan Sutami, Konstruksi Beton Indonesia 1966 untuk mencari momen maksimum dengan beban terpusat W dimana $ly/lx < 2,5$ adalah sebagai berikut:

$$M = \frac{\left(a1 \times \frac{bx}{lx}\right) + \left(a2 \times \frac{by}{ly}\right) + a3}{\frac{bx}{lx} + \frac{by}{ly} + a4} \times W$$

Dimana,

M : momen lapangan dan tepi maksimum (tm)

ly : bentang terbesar pelat = 6,4 m

lx : bentang terkecil pelat = 4,4 m

bx : ukuran beban W dalam arah bentang terkecil = 0,2 m

by : ukuran beban W dalam arah bentang terbesar = 0,2 m

Dengan perbandingan $ly/lx = 1,4$ maka dari tabel IV "Konstruksi Beton Indonesia" oleh Ir. Sutami didapat koefisien momen seperti tertera pada (**tabel 6.12**) berikut:

Tabel 6. 12 Koefisien a1, a2, a3, a4

	Mlx	Mly	Mtx	Mty
a1	-0,055	-0,009	0,039	0,080
a2	-0,030	-0,085	0,166	0,081
a3	0,143	0,125	-0,367	-0,276
a4	0,429	0,375	0,828	0,828

(Sumber : *Konstruksi Beton Indonesia*, oleh Ir. Sutami)

W : berat beban = 7,5 ton

Sehingga,

$$Mlx = \frac{\left(-0,055 \times \frac{0,2}{4,4}\right) + \left(-0,03 \times \frac{0,2}{6,4}\right) + 0,143}{\frac{0,2}{4,4} + \frac{0,2}{6,4} + 0,429} \times 6,75$$

$$= 1.863 \text{ tonm}$$

$$Mly = \frac{\left(-0,009 \times \frac{0,2}{4,4}\right) + \left(-0,085 \times \frac{0,2}{6,4}\right) + 0,125}{\frac{0,2}{4,4} + \frac{0,2}{6,4} + 0,375} \times 6,75$$

$$= 1.822 \text{ tonm}$$

$$Mtx = \frac{\left(0,039 \times \frac{0,2}{4,4}\right) + \left(0,166 \times \frac{0,2}{6,4}\right) + (-0,367)}{\frac{0,2}{4,4} + \frac{0,2}{6,4} + 0,828} \times 6,75$$


$$= -2.685 \text{ tonm}$$

$$Mty = \frac{\left(0,08 \times \frac{0,2}{4,4}\right) + \left(0,081 \times \frac{0,2}{6,4}\right) + (-0,276)}{\frac{0,2}{4,4} + \frac{0,2}{6,4} + 0,828} \times 6,75$$

$$= -2.013 \text{ tonm}$$

Dari semua momen dikombinasikan sehingga diperoleh momen rencana sebagai berikut lihat **(tabel 6.13)**

Tabel 6. 13 Rekapitulasi Perhitungan Momen Pada Pelat

Tipe pelat	Gambar pelat	Koefisien x	Momen akibat beban (t m)		
			Momen pelat	Tower Gangway (PG)	Momen Rencana
I		Mlx	2.846	1.863	4.71
		Mly	1.506	1.822	3.32
		Mtx	-6.111	-2.685	-8.79
		Mty	-4.771	-2.013	-6.78

6.5.6.4 Penulangan Pelat

Diambil pelat tipe I untuk penulangan pada pelat, karena untuk rasio l_y/l_x pelat tipe satu kurang dari 2,5. Untuk pelat tipe II, III, dan IV penulangannya digunakan penulangan praktis dengan mengikut tulangan pelat didekatnya. Momen pelat rencana yang telah dihitung dapat dilihat pada **(tabel 6.14)** dibawah ini:

Tabel 6. 14 Rekapitulasi Momen Pelat Rencana

Momen Pelat Rencana			
Mlx	Mly	Mtx	Mty
4,71	3,32	-8,79	-6,78

Data Bahan:Mutu Beton

$$\begin{aligned}
 K &= 300 \text{ kg/cm}^2 \\
 \sigma_{bk} &= 300 \text{ kg/cm}^2 \\
 \sigma_b &= 99 \text{ kg/cm}^2 \\
 E_b &= 6400\sqrt{300} = 1,1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Mutu Baja

$$\begin{aligned}
 \sigma_{au} &= 1280 \text{ kg/cm}^2 & ; n = E_a / E_b = 17,54 \\
 \sigma'_a &= 2780 \text{ kg/cm}^2 \\
 E_a &= 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \\
 n &= \text{Angka ekuivalensi antara modulus elastisitas baja dengan} \\
 &\text{modulus tekan beton}
 \end{aligned}$$

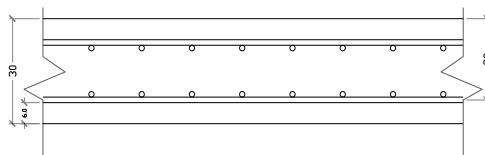
$$n = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2,1 \times 10^6}{1,1 \times 10^5} = 17,54$$

ϕ_o = Perbandingan antara tegangan baja tarik dan n kali tegangan tekan beton di serat yang paling tertekan pada keadaan seimbang.

$$\phi_o = \frac{\sigma_a}{n \cdot \sigma_b} = \frac{2780}{17,54 \cdot 99} = 1,6$$

1. Penulangan Arah Sumbu X

Gambar tinggi manfaat pelat dapat dilihat pada (**Gambar 6.20**)



Gambar 6. 20 Tinggi Manfaat Pelat

$$\begin{aligned}
 t &= 30 \text{ cm} ; \text{ decking} = 7 \text{ cm} \\
 D &= 1,6 \text{ cm} \\
 h_x &= 30 - 7 - 0,5 \times 1,6 = 22,2 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

a. Penulangan lapangan

$$Ca = \frac{hx}{\sqrt{\left(\frac{n \cdot Mlx}{b \cdot \sigma_a}\right)}} = \frac{22,2}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \cdot 4,71 \cdot 100000}{100 \cdot 2780}\right)}} = 3,31$$

Diambil $\delta = 0$, untuk $Ca = 3,31$, dari tabel lentur "n" PBI 1971 diperoleh:

$$\Phi = 1,817 > \Phi_o \quad (\mathbf{OK})$$

$$100n\omega = 10,61, \text{ maka } \omega = 10,61/(100 \times 17,54) = 0,00604$$

$$\begin{aligned} As &= \omega b h \\ &= 0,00604 \times 100 \times 22,2 = 13,4 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S \text{ tulangan} &= \frac{1000 \text{ mm}}{n \text{ tulangan}} \\ &= \frac{1000 \text{ mm}}{7} = 142,85 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D16 - 100 dengan luas ($14,07 \text{ cm}^2$)

Kontrol retak

Perhitungan lebar retak dihitung dengan menggunakan perumusan berikut :

$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d_p}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6}$$

dimana nilai ω_p dan σ_a didapat dari rumus berikut untuk balok persegi yang menerima lentur murni

$$\omega_p = \frac{A_{pakai}}{b \cdot h} = \frac{14,07}{100 \cdot 22,2} = 0,00633$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\Phi} = \frac{2780}{1,817} = 1529,9$$

dari (tabel 10.7.1 PBI 1971) diperoleh nilai koefisien C sebagai berikut:

$$C_3 = 1.50; C_4 = 0.16; C_5 = 30$$

berat baja tulangan per meter adalah $w_{\text{bar}} = 1,552 \text{ kg/m}$

$$d_p = 12,8 \sqrt{w_{\text{bar}}} = 12,8 \sqrt{1,552} = 15,95$$

$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d_p}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$w = 1 \cdot \left(1,50 \cdot 7 + 0,16 \cdot \frac{15,95}{0,00633} \right) \left(1529,9 - \frac{30}{0,00633} \right) \cdot 10^{-6} = -1,539 \text{ cm}$$

Nilai minus, lebar retak $< 0.01 \text{ cm}$.

b. Penulangan Tumpuan

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{n \cdot M_{tx}}{b \cdot \sigma_a} \right)}} = \frac{22,2}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \cdot -8,79 \cdot 100000}{100 \cdot 2780} \right)}} = 2,43$$

Diambil $\delta = 0$, untuk $Ca = 2,43$, dari tabel lentur "n" PBI 1971 diperoleh:

$$\Phi = 1,132 > \Phi_o \quad (\text{OK})$$

$$100n\omega = 20,72, \text{ maka } \omega = 20,72 / (100 \times 17,54) = 0,0118$$

$$As = \omega b h$$

$$= 0,0118 \times 100 \times 22,2 = 26.196 \text{ cm}^2$$

$$S \text{ tulangan} = \frac{1000 \text{ mm}}{n \text{ tulangan}}$$

$$= \frac{1000 \text{ mm}}{13} = 76,92 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan D16 - 100 dengan luas (26,196 cm²)

Kontrol retak

Perhitungan lebar retak dihitung dengan menggunakan perumusan berikut :

$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d_p}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6}$$

dimana nilai ω_p dan σ_a didapat dari rumus berikut untuk balok persegi yang menerima lentur murni

$$\omega_p = \frac{A_{pakai}}{b \cdot h} = \frac{26,196}{100 \cdot 22,2} = 0,0118$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\Phi} = \frac{2780}{1,132} = 2455,8$$

dari (tabel 10.7.1 PBI 1971) diperoleh nilai koefisien C sebagai berikut:

$$C_3 = 1,50; C_4 = 0,16; C_5 = 30$$

berat baja tulangan per meter adalah $w_{bar} = 1,552 \text{ kg/m}$

$$d_p = 12,8 \sqrt{w_{bar}} = 12,8 \sqrt{1,552} = 15,95$$

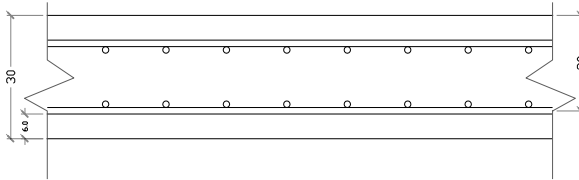
$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d_p}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$w = 1 \cdot \left(1,50 \cdot 7 + 0,16 \cdot \frac{15,95}{0,0118} \right) \left(2455,8 - \frac{30}{0,0118} \right) \cdot 10^{-6} = -0,2 \text{ cm}$$

Nilai minus, lebar retak $< 0,01 \text{ cm}$.

2. Penulangan Arah Sumbu Y

Gambar tinggi manfaat pelat dapat dilihat pada (**Gambar 6.21**)



Gambar 6. 21 Tinggi Manfaat Pelat

$$t = 30 \text{ cm ; decking} = 7 \text{ cm}$$

$$D = 1,6 \text{ cm}$$

$$h_y = 30 - 7 - 1,6 - (0,5 \times 1,6) = 20,6 \text{ cm}$$

a. Penulangan lapangan

$$Ca = \frac{h_y}{\sqrt{\left(\frac{n \cdot Mly}{b \cdot \sigma_a}\right)}} = \frac{20,6}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \cdot 3,32 \cdot 100000}{100 \cdot 2780}\right)}} = 3,61$$

Diambil $\delta = 0$, untuk $Ca = 3,61$, dari tabel lentur "n" PBI 1971 diperoleh:

$$\Phi = 1,927 > \Phi_0 \quad (\text{OK})$$

$$100n\omega = 15,36, \text{ maka } \omega = 8,889/(100 \times 17,54) = 0,00506$$

$$As = \omega b h$$

$$= 0,00506 \times 100 \times 20,6 = 10,425 \text{ cm}^2$$

$$S \text{ tulangan} = \frac{1000 \text{ mm}}{n \text{ tulangan}}$$

$$= \frac{1000 \text{ mm}}{6}$$

$$= 166,66 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan D16 - 100 dengan luas (12,06 cm²)

Kontrol retak

Perhitungan lebar retak dihitung dengan menggunakan perumusan berikut :

$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d_p}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6}$$

dimana nilai ω_p dan σ_a didapat dari rumus berikut untuk balok persegi yang menerima lentur murni

$$\omega_p = \frac{A_{pakai}}{b \cdot h} = \frac{12,06}{100 \cdot 20,6} = 0,00585$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\Phi} = \frac{2780}{1,927} = 1442,65$$

dari (tabel 10.7.1 PBI 1971) diperoleh nilai koefisien C sebagai berikut:

$$C_3 = 1.50; C_4 = 0.16; C_5 = 30$$

berat baja tulangan per meter adalah $w_{bar} = 1,552$ kg/m

$$d_p = 12,8 \sqrt{w_{bar}} = 12,8 \sqrt{1,552} = 15,95$$

$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d_p}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$w = 1 \cdot \left(1,50 \cdot 7 + 0,16 \cdot \frac{15,95}{0,00585} \right) \left(1442,65 - \frac{30}{0,00585} \right) \cdot 10^{-6} = -1,86 \text{ cm}$$

Nilai minus, lebar retak < 0.01 cm.

b. Penulangan Tumpuan

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{n \cdot M_{ty}}{b \cdot \sigma_a}\right)}} = \frac{20,6}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \cdot 6,78 \cdot 100000}{100 \cdot 2780}\right)}} = 2,57$$

Diambil $\delta = 0$ (tidak memerlukan tulangan tekan), untuk $Ca = 2.57$, dari tabel lentur "n" PBI 1971 diperoleh:

$$\Phi = 1,222 > \Phi_0 \text{ (OK)}$$

$$100n\omega = 18,41, \text{ maka } \omega = 18,41/(100 \times 17,54) = 0,0104$$

$$As = \omega b h$$

$$= 0,0104 \times 100 \times 20,6 = 21,424 \text{ cm}^2$$

$$S \text{ tulangan} = \frac{1000 \text{ mm}}{n \text{ tulangan}}$$

$$= \frac{1000 \text{ mm}}{11} = 90,9 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan D16 - 100 dengan luas ($22,11 \text{ cm}^2$)

Kontrol retak

Perhitungan lebar retak dihitung dengan menggunakan perumusan berikut :

$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d_p}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6}$$

dimana nilai ω_p dan σ_a didapat dari rumus berikut untuk balok persegi yang menerima lentur murni

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\Phi} = \frac{2780}{1,22} = 2278,68$$

$$\omega_p = \frac{A_{pakai}}{b \cdot h} = \frac{22,11}{100 \cdot 20,6} = 0,0107$$

dari (*tabel 10.7.1 PBI 1971*) diperoleh nilai koefisien C sebagai berikut:

$$C_3 = 1.50; C_4 = 0.16; C_5 = 30$$

berat baja tulangan per meter adalah $w_{\text{bar}} = 1,552 \text{ kg/m}$

$$d_p = 12,8 \sqrt{w_{\text{bar}}} = 12,8 \sqrt{1,552} = 15,95$$

$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d_p}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6}$$

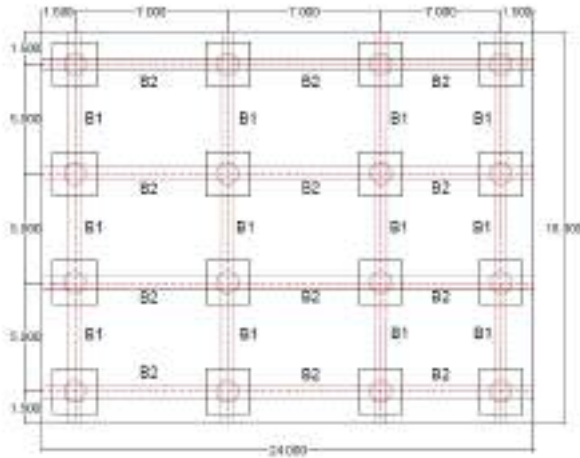
$$w = 1 \cdot \left(1,50 \cdot 7 + 0,16 \cdot \frac{15,95}{0,0107} \right) \left(2278,68 - \frac{30}{0,0107} \right) \cdot 10^{-6} = -0,32 \text{ cm}$$

Nilai minus, lebar retak $< 0,01 \text{ cm}$

6.5.7 Perhitungan Balok

Dalam perencanaan balok untuk loading platform, tipe balok dibagi menjadi 4 tipe berdasarkan pada luasan beban yang diterima oleh balok tersebut. Tipe balok yang berada di tepi untuk momen dan penulangannya digunakan penulangan praktis dengan mengikuti tulangan balok didekatnya.

Hal ini dikarenakan untuk balok-balok tersebut memiliki bentang dan beban tributary yang kecil, sehingga sudah cukup aman jika direncanakan pendetailan seperti balok di dekatnya. Adapun balok loading platform yang direncanakan adalah balok melintang (B1) dan balok memanjang (B2). Untuk denah pembalokan dapat dilihat pada (**Gambar 6.22**)



Gambar 6. 22 Denah Pembalok Loading Platform

6.5.7.1 Perhitungan Tulangan Balok Melintang Data Perencanaan Balok Melintang

1. Dimensi Balok Melintang

Lebar (b)	= 60 cm = 0,6 m
Tinggi (h)	= 90 cm = 0,9 m
Panjang (L)	= 500 cm = 5 m
Selimut beton (d')	= 8 cm = 0,08 m

2. Mutu Beton = K 300

K	= 300 kg/cm ²
σ_{bk}	= 300 kg/cm ²
σ_b	= 99 kg/cm ²
E _b	= $6400\sqrt{300}$
	= $1,1 \times 10^5$ kg/cm ²

3. Mutu Baja Tulangan (U 32)

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter tulangan lentur} &= 29 \text{ mm} \\
 \text{Diameter tulangan geser} &= 16 \text{ mm} \\
 \sigma_{au} &= 1280 \text{ kg/cm}^2 \\
 \sigma'_a &= 2780 \text{ kg/cm}^2 \\
 E_a &= 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \\
 \phi_o &= \frac{\sigma_a}{n \cdot \sigma_b} = \frac{2780}{17,54 \times 99} \\
 &= 1,6
 \end{aligned}$$

4. Momen dan Gaya Geser Balok Melintang

Dari hasil permodelan struktur didapat momen dan gaya geser sebesar:

$$\begin{aligned}
 \text{Mu lapangan} &= 12138,7 \text{ kgm} \\
 \text{Mu tumpuan} &= -32224,87 \text{ kgm} \\
 \text{Vu} &= 20875,59 \text{ kg} \\
 \text{Tu} &= 3652,26 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

5. Panjang Tumpuan dan Lapangan

Panjang tumpuan dianggap $0,25L$ sedangkan panjang lapangan dianggap $0,5L$.

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang tumpuan} &= 0,25L = 0,25(500) = 125 \text{ cm} \\
 \text{Panjang lapangan} &= 0,5L = 0,5(500) = 250 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Tulangan Lentur

Bagian tumpu balok, serat paling atas mengalami tarik sedangkan serat paling bawah mengalami tekan. Bagian lapangan balok, serat paling atas mengalami tekan sedangkan serat bawah mengalami tarik. Untuk perbandingan kebutuhan luasan tulangan tarik dan tekan ditentukan sebesar ($\delta = 0,4$).

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{E_a}{E_b} = \frac{2,1 \times 10^6}{1,1 \times 10^5} = 17,54 \\
 b &= 60 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h' &= h - d' - \phi_{\text{tulgeser}} - 0,5\phi_{\text{tullentur}} \\
 &= 90 - 8 - 1,6 - 2,9 = 77,5 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

a. Perhitungan Tulangan Tumpuan

$$\begin{aligned}
 Ca &= \frac{h'}{\sqrt{\frac{n \times Mu}{b \times \sigma'_a}}} \\
 Ca &= \frac{77,5}{\sqrt{\frac{17,54 \times 32224,87}{0,6 \times 2780}}} = 3,43
 \end{aligned}$$

Dengan melihat tabel Perhitungan Lentur Cara “n” untuk nilai $Ca = 3,42$ dengan $\delta = 0,4$, maka didapatkan nilai sebagai berikut :

$$\phi = 2,03$$

$$\phi > \phi_o \quad (\text{OK})$$

$$100n\omega = 9,42$$

$$\omega = 9,42/1754 = 0,00537$$

Tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 A_s &= \omega b h' \\
 &= 0,00537 \times 60 \times 77,5 \\
 &= 24,97 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Dipasang 4-D29 dengan luas ($26,42 \text{ cm}^2$).

Tulangan Tekan

$$\begin{aligned}
 A' &= \delta A_s \\
 &= 0,4 \times 26,42 \\
 &= 10,588 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Dipasang 2-D29 dengan luas ($13,21 \text{ cm}^2$).

Tulangan Samping

$$\begin{aligned}
 A &= 10\% A_s \\
 &= 0,1 \times 26,42 = 2,642 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Dipasang 2-D16 dengan luas (4,021 cm²).

Cek Jarak Tulangan Tarik

$$s = \frac{B - 2x_{decking} - 2x\phi_{senggang} - nx\phi_{tulangan}}{n-1} > 6$$

$$s = \frac{60 - 2x7 - 2x1,6 - 4x2,9}{4-1} = 10,5 \text{ cm} > 6 \text{ cm (OK)}$$

Maka, pada tulangan tumpuan balok melintang dipasang tulangan lentur tarik 4 D29 (A = 26,42 cm²) dan tulangan letur tekan 2 D29 (A = 13,21 cm²).

Kontrol Retak

Menurut PBI 1971 lebar retak untuk beton diluar bangunan yang tidak terlindung dari hujan dan matahari diisyaratkan besarnya tidak lebih dari 0,01cm. rumus untuk mencari lebar retak adalah sebagai berikut :

$$w = \alpha(C_3 \times c + C_4 \times \frac{d}{\omega_p})(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p})10^{-6}$$

dimana nilai ω_p dan σ_a didapat dari rumus berikut untuk balok persegi yang menerima lendut murni.

$$\omega_p = \frac{A_{s_{pakai}}}{b \cdot h} = \frac{26,42}{60 \times 77,5} = 0,00568$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\phi} = \frac{2780}{2,03} = 1369,5$$

dari (tabel 10.7.1 PBI '71) diperoleh nilai nilai koefisien C sebagai berikut: $C_3 = 1,5$; $C_4 = 0,07$; $C_5 = 30$

Berat baja tulangan per meter adalah $W_{bar} = 5,185 \text{ Kg/m}$; $d = 12,8 \sqrt{W_{bar} = 12,8 \sqrt{5,185} = 29,14 \text{ mm} = 2,915 \text{ cm}}$

$$w = a \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$w = 1 \left(1,5 \cdot 8 + 0,07 \cdot \frac{2,915}{0,00568} \right) \left(1369,5 - \frac{30}{0,00568} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$w = -0,06$$

nilai minus, lebar retak berarti $< 0,01$ cm **(OK)**

b. Perhitungan Tulangan Lapangan

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{n \cdot Mlx}{b \cdot \sigma_a} \right)}} = \frac{77,5}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \cdot 12138,7}{0,6 \cdot 2780} \right)}} = 5,58$$

Dengan menggunakan nilai $\delta = 0,4$ dan $Ca = 5,58$, dari tabel n-lentur didapat :

$$\Phi = 3,44 > \phi_o \quad \textbf{(OK)}$$

$$100n\omega = 3,49$$

Sehingga,

$$\omega = 3,49 / (100 \times 17,54) = 0,00198$$

Luas Tulangan Tarik :

$$\begin{aligned} As &= \omega b h \\ &= 0,00198 \times 60 \times 77,5 \\ &= 9,207 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai 3-D29 ($As_{\text{pakai}} = 19,8 \text{ cm}^2$)

Luas Tulangan Tekan :

$$\begin{aligned} As' &= \delta \times As \\ &= 0,4 \times 13,2 \\ &= 5,28 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai 2-D29 ($As_{\text{pakai}} = 13,2 \text{ cm}^2$)

Tulangan Samping

$$A_s = 10\% A_{st}$$

$$= 0,1 \times 13,2 = 1,32 \text{ cm}^2$$

Dipasang 2-D16 dengan luas (4,021 cm²).

Cek Jarak Tulangan Tarik

$$s = \frac{B - 2x_{decking} - 2x\phi_{sengkang} - nx\phi_{tulangan}}{n-1} > 6$$

$$s = \frac{60 - 2 \times 7 - 2 \times 1,6 - 3 \times 2,9}{3-1} = 17,05 \text{ cm} > 6 \text{ cm (OK)}$$

Kontrol Retak

Besar lebar retak yang terjadi adalah $-0,24 < 0,01 \text{ cm (OK)}$

Maka, pada tulangan lapangan balok melintang dipasang tulangan lentur tarik 3 D 29 ($A_s = 19,8 \text{ cm}^2$) dan tulangan letur tekan 2 D 29 ($A'_s = 13,2 \text{ cm}^2$).

Kontrol Dimensi Balok

$$\tau_b = \frac{V}{b \cdot \frac{7}{8} \cdot h} = \frac{20875,59}{60 \cdot \frac{7}{8} \cdot 77,5} = 5,13 \text{ Kg / cm}^2$$

Untuk $h > b$

$$\psi = 3 + \frac{2,6}{0,45 + \frac{h}{b}} = 3 + \frac{2,6}{0,45 + \frac{90}{60}} = 4,33$$

Tegangan geser puntir beton pada penampang balok persegi di tengah tepi penampang yang vertikal (PBI '71 Pasal 11.8.1):

$$\tau'_b = \frac{\psi \cdot T}{b^2 \cdot ht} = \frac{4,33 \cdot 365226}{60^2 \cdot 90} = 4,88 \text{ Kg / cm}^2$$

$$\tau_{bm} = 1,62\sqrt{300} = 30,307 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$\tau_b + \tau'_b = 5,13 + 4,88 = 10,01 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$\tau_b + \tau'_b < \tau_{bm} \quad \textbf{(OK)} \text{ Ukuran balok } 60/90 \text{ memenuhi syarat.}$$

Perhitungan Tulangan Geser

$$\tau_b = \frac{V}{b \cdot \frac{7}{8} \cdot h} = \frac{20875,59}{60 \cdot \frac{7}{8} \cdot 77,5} = 5,13 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

Tegangan beton yang diijinkan berdasarkan (*PBI 1971 tabel 10.4.2*) akibat geser oleh lentur dan puntir dengan tulangan geser:

Untuk pembebanan tetap

$$\tau'_{bm-t} = 1,35\sqrt{\sigma'_{bk}} = 1,35\sqrt{300} = 23,38 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

Untuk pembebanan sementara

$$\tau'_{bm-t} = 2,12\sqrt{\sigma'_{bk}} = 2,12\sqrt{300} = 36,7 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

Tulangan Geser pada Tumpuan Balok

$$\left. \begin{array}{l} \tau_b < \tau'_{bm-t} \\ \tau_b < \tau'_{bm-s} \end{array} \right\} \textbf{Ok, diperlukan sengkang!}$$

Direncanakan sengkang:

$$D = 16 \text{ mm}$$

$$As = 2,0096 \text{ cm}^2$$

$$2 \text{ As} = 4,02 \text{ cm}^2 \text{ (Sengkang 2 kaki)}$$

$$\sigma_a = 2780 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\tau_b = \frac{(2,5-0,3)}{2,5} 5,13 = 4,52 \text{ Kg} / \text{cm}^2 \quad (L = 5 \text{ m})$$

$$as < \frac{As \cdot \sigma_a}{\tau_b \cdot b} = \frac{4,02 \cdot 2780}{4,52 \cdot 60} = 41,2 \text{ cm} = 250 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan geser pada tumpuan D16-250.

Sengkan di daerah > 1 m dari ujung balok 4,4 m

$$\tau_b = \frac{(2,2-1)}{2,2} 5,13 = 2,79 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$as < \frac{As \cdot \sigma_a}{\tau_b \cdot b} = \frac{4,02 \cdot 2780}{2,79 \cdot 60} = 66,7 \text{ cm} = 250 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan geser pada daerah >1m dari ujung D16-250.

Panjang Tulangan Penyaluran

1. Tulangan Tarik

Berdasarkan (PBI 1971 pasal 8.6.2) diambil nilai terbesar dari persamaan berikut ini:

$$As_{D29} = 6,6052 \text{ cm}^2$$

$$L_d = 0,07 \frac{A \cdot \sigma_{au}^*}{\sqrt{\sigma'_{bk}}} \geq 0,0065 \cdot d_p \cdot \sigma_{au}$$

$$L_d = 0,07 \frac{6,6052 \cdot 1280}{\sqrt{300}} \geq 0,0065 \cdot 2,92 \cdot 1280$$

$$L_d = 68,71 \text{ cm} \geq 52,76 \text{ cm}$$

Maka digunakan panjang penyaluran tulangan untuk tulangan tarik adalah 70 cm.

2. Tulangan Tekan

Berdasarkan (*PBI 1971 pasal 8.7.2*) diambil nilai terbesar dari persamaan berikut ini :

$$As_{D29} = 6,6052 \text{ cm}^2$$

$$L_d = 0,09 \frac{d \cdot \sigma_{au}^*}{\sqrt{\sigma'_{bk}}} \geq 0,005 \cdot d_p \cdot \sigma_{au}$$

$$L_d = 0,09 \frac{6,6052 \cdot 1280}{\sqrt{300}} \geq 0,005 \cdot 2,92 \cdot 1280$$

$$L_d = 89,6 \text{ cm} \geq 40,58$$

Maka digunakan panjang penyaluran tulangan untuk tulangan tekan adalah 90 cm.

6.5.7.2 Perhitungan Tulangan Balok Memanjang

Data Perencanaan Balok Memanjang

1. Mutu Beton = K 300
 - K = 300 kg/cm²
 - σ_{bk} = 300 kg/cm²
 - σ_b = 99 kg/cm²
 - Eb = $6400\sqrt{300} = 1,1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

2. Mutu Baja Tulangan (U 32)

- Diameter tulangan lentur = 29 mm
- Diameter tulangan geser = 16 mm
- σ_{au} = 1280 kg/cm²
- σ'_a = 2780 kg/cm²
- Ea = $2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
- $\phi_o = \frac{\sigma_a}{n \cdot \sigma_b} = \frac{2780}{17.54 \times 99} = 1,6$

3. Dimensi Balok Memanjang

Lebar (b)	= 60 cm = 0,6 m
Tinggi (h)	= 90 cm = 0,9 m
Panjang (L)	= 700 cm = 7 m
Selimit beton (d')	= 8 cm = 0,08 m

4. Momen dan Gaya Geser Balok Memanjang

Dari hasil permodelan struktur didapat momen dan gaya geser terbesar akibat kombinasi sebesar:

Mu lapangan	= 27352,34 kgm
Mu tumpuan	= -42229,44 kgm
Vu	= 30824 kg
Tu	= 3721,56 kgm

5. Panjang Tumpuan dan Lapangan

Panjang tumpuan dianggap $0,25L$ sedangkan panjang lapangan dianggap $0,5L$. Maka :

Panjang tumpuan	= $0,25L = 0,25 (700) = 175 \text{ cm}$
Panjang lapangan	= $0,5L = 0,5 (700) = 350 \text{ cm}$

Perhitungan Tulangan Lentur

Bagian tumpuan balok, serat paling atas mengalami tarik sedangkan serat paling bawah mengalami tekan. Bagian lapangan balok, serat paling atas mengalami tekan sedangkan serat bawah mengalami tarik. Untuk perbandingan kebutuhan luasan tulangan tarik dan tekan ditentukan sebesar ($\delta = 0,4$).

$$\begin{aligned}
 n &= E_a/E_b = 2100000/119733 = 17,54 \\
 b &= 70 \text{ cm} \\
 h' &= h - d' - \phi_{\text{tulgeser}} - 0,5\phi_{\text{tullentur}} \\
 &= 90 - 8 - 1,6 - 2,9 = 77,5 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

a. Perhitungan Tulangan Tumpuan

$$Ca = \frac{h'}{\sqrt{\frac{n \times Mu}{b \times \sigma' a}}}$$

$$Ca = \frac{77,5}{\sqrt{\frac{17,54 \times 42229,44}{0,6 \times 2780}}} = 3,00$$

Dengan melihat tabel Perhitungan Lentur Cara “n” untuk nilai $Ca = 3,00$ dengan $\delta = 0,4$, maka didapatkan nilai sebagai berikut :

$$\emptyset = 1,74$$

$$\emptyset > \emptyset_o \quad (\text{OK})$$

$$100n\omega = 12,59$$

$$\omega = 12,59/1754 = 0,007177$$

Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} As &= \omega b h' \\ &= 0,00717 \times 60 \times 77,5 \\ &= 33,34 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang 6-D29 dengan luas (39,63 cm²).

Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} A' &= \delta As \\ &= 0,4 \times 39,63 \\ &= 15,852 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang 3-D29 dengan luas (19,8 cm²).

Tulangan Samping

$$\begin{aligned} A &= 10\% As \\ &= 0,1 \times 39,63 = 3,963 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang 2-D16 dengan luas (4,021 cm²).

Cek Jarak Tulangan Tarik

$$s = \frac{B - 2x_{\text{decking}} - 2x_{\phi \text{sengkang}} - nx_{\phi \text{.tulangan}}}{n-1} > 6$$

$$s = \frac{60 - 2 \times 7 - 2 \times 1,6 - 6 \times 2,9}{6-1} = 7,6 \text{ cm} > 6 \text{ cm (OK)}$$

Maka, pada tulangan tumpuan balok memanjang dipasang tulangan lentur tarik 6 D29 (A = 39,63 cm²) dan tulangan letur tekan 3 D29 (A = 19,8 cm²).

Kontrol Retak

Menurut PBI 1971 lebar retak untuk beton diluar bangunan yang tidak terlindung dari hujan dan matahari diisyaratkan besarnya tidak lebih dari 0,01cm. rumus untuk mencari lebar retak adalah sebagai berikut :

$$w = \alpha (C_3 \times c + C_4 \times \frac{d}{\omega_p}) (\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p}) 10^{-6}$$

dimana nilai ω_p dan σ_a didapat dari rumus berikut untuk balok persegi yang menerima lendut murni.

$$\omega_p = \frac{A s_{pakai}}{b \cdot h} = \frac{39,63}{60 \times 77,5} = 0,00852$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\phi} = \frac{2780}{1,74} = 1597,7$$

dari (tabel 10.7.1 PBI '71) diperoleh nilai nilai koefisien C sebagai berikut: $C_3 = 1,5$; $C_4 = 0,07$; $C_5 = 30$

Berat baja tulangan per meter adalah $W_{\text{bar}} = 5,185 \text{ Kg/m}$; $d = 12,8 \sqrt{W_{\text{bar}}} = 12,8 \sqrt{5,185} = 29,14 \text{ mm} = 2,915 \text{ cm}$

$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$w = 1 \left(1.5 \cdot 8 + 0.07 \cdot \frac{2,915}{0.00852} \right) \left(1597,7 - \frac{30}{0.00852} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$w = -0,0124$$

nilai minus, lebar retak berarti $< 0,01$ cm **(OK)**

b. Perhitungan Tulangan Lapangan

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{n \cdot Mlx}{b \cdot \sigma a} \right)}} = \frac{77,5}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \cdot 27352,34}{0,6 \cdot 2780} \right)}} = 3,72$$

Dengan menggunakan nilai $\delta = 0,4$ dan $Ca = 5,58$, dari tabel n-lentur didapat :

$$\Phi = 2,226 > \phi_o \quad \textbf{(OK)}$$

$$100n\omega = 7,29$$

Sehingga,

$$\omega = 7,29 / (100 \times 17,54) = 0,00415$$

Luas Tulangan Tarik :

$$As = \omega b h$$

$$= 0,00415 \times 60 \times 77,5$$

$$= 19,29 \text{ cm}^2$$

Dipakai 4-D29 ($As_{\text{pakai}} = 26,4 \text{ cm}^2$)

Luas Tulangan Tekan :

$$As' = \delta \times As$$

$$= 0,4 \times 26,4$$

$$= 10,56 \text{ cm}^2$$

Dipakai 2-D29 ($As_{\text{pakai}} = 13,2 \text{ cm}^2$)

Tulangan Samping

$$A = 10\% As$$

$$= 0,1 \times 13,2 = 1,32 \text{ cm}^2$$

Dipasang 2-D16 dengan luas ($4,021 \text{ cm}^2$).

Cek Jarak Tulangan Tarik

$$s = \frac{B - 2x_{\text{decking}} - 2x_{\phi \text{sengkan}} - nx_{\phi \text{tulangan}}}{n-1} > 6$$

$$s = \frac{60 - 2 \times 7 - 2 \times 1,6 - 4 \times 2,9}{4-1} = 10,4 \text{ cm} > 6 \text{ cm (OK)}$$

Kontrol Retak

Besar lebar retak yang terjadi adalah $-0,024 < 0,01 \text{ cm (OK)}$

Maka, pada tulangan lapangan balok melintang dipasang tulangan lentur tarik 4 D 29 ($A = 26,4 \text{ cm}^2$) dan tulangan letur tekan 2 D 29 ($A' = 13,2 \text{ cm}^2$).

Kontrol Dimensi Balok

$$\tau_b = \frac{V}{b \cdot \frac{7}{8} \cdot h} = \frac{30824}{60 \cdot \frac{7}{8} \cdot 77,5} = 7,57 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

Untuk $h > b$

$$\psi = 3 + \frac{2,6}{0,45 + \frac{h}{b}} = 3 + \frac{2,6}{0,45 + \frac{90}{60}} = 4,33$$

Tegangan geser puntir beton pada penampang balok persegi di tengah tepi penampang yang vertikal (*PBI '71 Pasal 11.8.1*):

$$\tau'_b = \frac{\psi \cdot T}{b^2 \cdot ht} = \frac{4,33 \cdot 372156}{60^2 \cdot 90} = 4,97 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$\tau_{bm} = 1,62\sqrt{300} = 28,06 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$\tau_b + \tau'_b = 7,57 + 4,97 = 12,54 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$\tau_b + \tau'_b < \tau_{bm} \quad \text{(OK) Ukuran balok 60/90 memenuhi syarat}$$

Perhitungan Tulangan Geser

$$\tau_b = \frac{V}{b \cdot \frac{7}{8} \cdot h} = \frac{30824}{60 \cdot \frac{7}{8} \cdot 77,5} = 7,57 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

Tegangan beton yang diijinkan berdasarkan (*PBI 1971 tabel 10.4.2*) akibat geser oleh lentur dan puntir dengan tulangan geser:

Untuk pembebanan tetap

$$\tau'_{bm-t} = 1,35 \sqrt{\sigma'_{bk}} = 1,35 \sqrt{300} = 23,38 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

Untuk pembebanan sementara

$$\tau'_{bm-t} = 2,12 \sqrt{\sigma'_{bk}} = 2,12 \sqrt{300} = 36,71 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

Tulangan Geser pada Tumpuan Balok

$$\left. \begin{array}{l} \tau_b < \tau'_{bm-t} \\ \tau_b < \tau'_{bm-s} \end{array} \right\} \text{Ok, diperlukan sengkang!}$$

Direncanakan sengkang:

$$D = 16 \text{ mm}$$

$$As = 2,0096 \text{ cm}^2$$

$$2 As = 4,02 \text{ cm}^2 \text{ (Sengkang 2 kaki)}$$

$$\sigma_a = 2780 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\tau_b = \frac{(3,5-0,3)}{3,5} 7,57 = 6,92 \text{ Kg} / \text{cm}^2 \quad (L = 7 \text{ m})$$

$$as < \frac{As \cdot \sigma_a}{\tau_b \cdot b} = \frac{4,02 \cdot 2780}{6,92 \cdot 60} = 17,9 \text{ cm} = 150 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan geser pada tumpuan D16-150.

Sengkan di daerah > 1 m dari ujung balok 6,4 m

$$\tau_b = \frac{(3,2 - 1)}{3,2} 5,13 = 3,526 \text{ Kg / cm}^2$$

$$as < \frac{As \cdot \sigma_a}{\tau_b \cdot b} = \frac{4,02 \cdot 2780}{3,526 \cdot 60} = 35,15 \text{ cm} = 250 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan geser pada daerah > 1 m dari ujung D16-250.

Panjang Tulangan Penyaluran

1. Tulangan Tarik

Berdasarkan (*PBI 1971 pasal 8.6.2*) diambil nilai terbesar dari persamaan berikut ini:

$$As_{D29} = 6,6052 \text{ cm}^2$$

$$L_d = 0,07 \frac{A \cdot \sigma_{au}^*}{\sqrt{\sigma'_{bk}}} \geq 0,0065 \cdot d_p \cdot \sigma_{au}$$

$$L_d = 0,07 \frac{6,6052 \cdot 2780}{\sqrt{300}} \geq 0,0065 \cdot 2,92 \cdot 2780$$

$$L_d = 68,71 \text{ cm} \geq 52,76 \text{ cm}$$

Maka digunakan panjang penyaluran tulangan untuk tulangan tarik adalah 70 cm.

2. Tulangan Tekan

Berdasarkan (*PBI 1971 pasal 8.7.2*) diambil nilai terbesar dari persamaan berikut ini :

$$As_{D29} = 6,6052 \text{ cm}^2$$

$$L_d = 0,09 \frac{d \cdot \sigma_{au}^*}{\sqrt{\sigma'_{bk}}} \geq 0,005 \cdot d_p \cdot \sigma_{au}$$

$$L_d = 0,09 \frac{6,6052 \cdot 2780}{\sqrt{300}} \geq 0,005 \cdot 2,92 \cdot 2780$$

$$L_d = 89,6 \text{ cm} \geq 40,58$$

Maka digunakan panjang penyaluran tulangan untuk tulangan tekan adalah 90 cm.

6.5.7.3 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tulangan Balok

Berikut adalah hasil perhitungan keperluan tulangan lentur dan geser pada balok melintang dan memanjang yang tersaji dalam (tabel 6.15)

Tabel 6. 15 Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Balok

Struktur	Tulangan Lentur			
	Posisi	Letak	Tulangan Pakai	Tulangan Penyaluran
Balok Melintang	Tumpuan	Atas	4 D29	70 cm
		Bawah	2 D29	90 cm
	Lapangan	Atas	2 D29	90 cm
		Bawah	3 D29	70 cm
Balok Memanjang	Tumpuan	Atas	6 D29	70 cm
		Bawah	3 D29	90 cm
	Lapangan	Atas	2 D29	70 cm
		Bawah	4 D29	90 cm
Struktur	Tulangan Geser			
	Posisi	Letak	Tulangan Pakai	Tulangan Penyaluran
Balok Melintang	Tumpuan	-	D16-250	-
	Lapangan		D16-250	
Balok Memanjang	Tumpuan		D16-150	
	Lapangan		D16-250	

6.5.8 Perencanaan Poer

6.5.8.1 Tipe Poer

Perencanaan poer pada struktur loading platform menggunakan poer tunggal dengan data sebagai berikut :

Panjang	= $ly = 140 \text{ cm}$
Lebar (b)	= $lx = 140 \text{ cm}$
Tinggi (h)	= 100 cm
ht	= $100 - d - \emptyset \text{ geser} - 0,5 \emptyset \text{ tul-lentur}$
	= $100 - 8 - 1,6 - (0,5 \cdot 2,9) = 88,95$
deck (d)	= 8 cm

Data bahan :

Mutu Beton

K	= 300 kg/cm^2
σ_{bk}	= 300 kg/cm^2
σ_b	= 99 kg/cm^2
E _b	= $6400\sqrt{300}$
	= $1,1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

Mutu Baja (U32) :

σ_{au}	= 1280 kg/cm^2	; $n = E_a / E_b = 17,54$
σ'_a	= 2780 kg/cm^2	
E _a	= $2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$	
n	= Angka ekivalensi antara modulus elastisitas baja dengan modulus tekan beton	

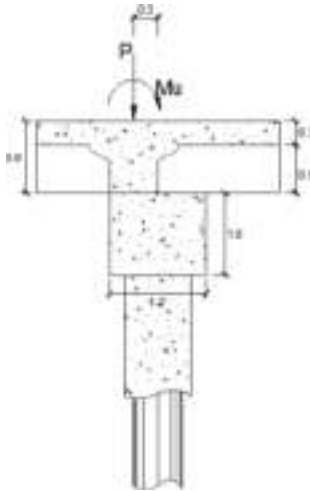
$$n = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2,1 \times 10^6}{1,1 \times 10^5} = 17,54$$

ϕ_o = Perbandingan antara tegangan baja tarik dan n kali tegangan tekan beton di serat yang paling tertekan pada keadaan seimbang.

$$\phi_o = \frac{\sigma_a}{n \cdot \sigma_b} = \frac{2780}{17,54 \cdot 99} = 1,6$$

6.5.8.2 Penulangan Poer

Dari perhitungan program SAP 2000 didapat gaya yang bekerja pada poer, kemudian dengan asumsi pelaksanaan yang sulit maka direncanakan terjadi eksentrisitas pada poer seperti terlihat pada **(Gambar 6.23)**



Gambar 6. 23 Eksentrisitas Poer Tunggal

Data gaya-gaya yang terjadi pada poer :

$$P = 30,427 \text{ ton}$$

$$M = 27,264 \text{ tm}$$

$$e_x = (b - b_{\text{balok}})/2 = (140 - 60)/2 = 40 \text{ cm}$$

$$e_y = (b - b_{\text{balok}})/2 = (140 - 60)/2 = 40 \text{ cm}$$

$$M_x = e_y \cdot P + M = 0,4 \times 30,427 + 27,264 = 36,392 \text{ tm}$$

$$M_y = e_x \cdot P + M = 0,4 \times 30,427 + 27,264 = 36,392 \text{ tm}$$

Perhitungan Tulangan Tumpuan dan Lapangan Poer Tunggal

$$M_{xy} = 36,392 \text{ tm}$$

Poer ini didesain sebagai pelat dengan $\delta = 0$.

$$\phi_o = 0,904$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{n \cdot Mx}{b \cdot \sigma a}\right)}} = \frac{88,95}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \cdot 3639200}{120 \cdot 2780}\right)}} = 5,24$$

Dengan menggunakan nilai $\delta = 0$. dan $Ca = 5,24$, dari tabel n-lentur didapat :

$$\Phi = 3,5 > \phi_o \quad (\text{OK})$$

$$100n\omega = 3,16$$

Sehingga,

$$\omega = 3,16 / (100 \times 17,54) = 0,0018$$

Luas dan Kebutuhan Tulangan

$$\begin{aligned} A_s &= \omega b h \\ &= 0,0018 \times 140 \times 88,95 \\ &= 19,213 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$S \text{ tulangan} = \frac{1000 \text{ mm}}{n \text{ tulangan}}$$

$$= \frac{1000 \text{ mm}}{4} = 250 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan D29 - 250 dengan luas (26,42 cm²)

Tulangan Samping

Luas tulangan samping diambil sebesar 10% dari luas tulangan tarik (*PBI 1971 9.3.5*).

$$A_{sd} = 10\% \times 26,42 = 2,42 \text{ mm}^2$$

$$S \text{ tulangan} = \frac{1000 \text{ mm}}{n \text{ tulangan}}$$

$$= \frac{1000 \text{ mm}}{2} = 500 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan D16-500 ($A_{s \text{ pakai}} = 4,02 \text{ cm}^2$)

Cek Jarak antar Tulangan Tarik

Direncanakan menjadi satu baris tulangan dimana setiap barisnya terdapat 4 buah tulangan

$$S = \frac{b - 2d' - 2\phi_{tulgeser} - n\phi_{tullentur}}{n-1} > 6 \text{ cm}$$

$$= \frac{60 - 2(8) - 2(1,6) - 4(2,9)}{4-1} = 9,73 \text{ cm} > 6 \text{ cm (OK)}$$

Maka, pada pile cap dipasang tulangan lentur tarik dan tekan D29 - 250 ($A = 26,42 \text{ cm}^2$)

Kontrol Retak

Menurut PBI 1971 lebar retak untuk beton diluar bangunan yang tidak terlindung dari hujan dan matahari diisyaratkan besarnya tidak lebih dari 0,01cm. rumus untuk mencari lebar retak adalah sebagai berikut :

$$w = \alpha(C_3 \times c + C_4 \times \frac{d}{\omega_p})(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p})10^{-6}$$

dimana nilai ω_p dan σ_a didapat dari rumus berikut untuk balok persegi yang menerima lendut murni.

$$\omega_p = \frac{A_{s \text{ pakai}}}{b \cdot h} = \frac{26,42}{120 \times 88,95} = 0,00247$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\phi} = \frac{2780}{3,5} = 794,28$$

Dari (tabel 10.7.1 PBI '71) diperoleh nilai nilai koefisien C sebagai berikut: $C_3 = 1,5$; $C_4 = 0,16$; $C_5 = 30$

Berat baja tulangan per meter adalah $W_{\text{bar}} = 2,985 \text{ Kg/m}$;

$$d = 12,8\sqrt{W_{\text{bar}}} = 12,8\sqrt{5,185} = 29,146 \text{ mm} = 2,92 \text{ cm}$$

$$w = a \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$w = 1 \left(1,5 \cdot 8 + 0,16 \cdot \frac{2,92}{0,00247} \right) \left(794,28 - \frac{30}{0,00247} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$w = -2,36$$

nilai minus, lebar retak berarti $< 0,01$ cm **(OK)**

Kemampuan Tulangan Menahan Gaya Geser Pons

$$Ah = \frac{P}{\sigma_a \cdot \mu} < A \quad (PBI '71(11.10))$$

Ah = Luas efektif tulangan horisontal yang diperlukan dengan $\mu = 1,4$

$$Ah = \frac{30427}{2780 \cdot 1,4} < A$$

Memakai 4 - D29 ($A_{s \text{ pakai}} = 26,4 \text{ cm}^2$)

$$Ah = 11,74 \text{ cm}^2 < A = 26,4 \text{ cm}^2 \quad \textbf{(OK)}$$

$$\tau_{bp} = \frac{P}{\pi \cdot (c + ht) \cdot ht} < \tau_{bm} = 0,65 \sqrt{\sigma'_{bk}} \quad (PBI '71(11.9(2)))$$

Dimana :

P = gaya aksial \max yang bekerja pada tiang pancang

c = diameter tiang pancang = 70 cm

ht = tinggi total pilecap atau poer = 100 cm

τ_{bm} = tegangan ijin beton ($0,65 \sqrt{\sigma'_{bk}}$)

$$= 0,65 \sqrt{300} = 12,16 \text{ kg/cm}^2$$

τ_{bp} = tegangan aktual yang terjadi pada beton

Maka :

$$\tau_{bp} = \frac{30427}{\pi \cdot (70 + 100) \cdot 100} < \tau_{bm} = 0,65\sqrt{300}$$

$$\tau_{bp} = 0,56 \text{ Kg} / \text{cm}^2 < \tau_{bm} = 12 \text{ Kg} / \text{cm}^2 \quad (\text{OK})$$

Maka pile cap tunggal aman dari keruntuhan akibat gaya geser pons

Kemampuan Tulangan Terhadap Gaya Tarik antara Sambungan Tiang Pancang Pile Cap dengan Balok

Kontrol kemampuan tulangan untuk tahan terhadap gaya tarik antara sambungan tiang pancang pile cap dengan balok. Dari permodelan struktur SAP 2000 didapatkan besarnya gaya aksial sebesar:

$$P = 30427 \text{ kg}$$

Hal yang perlu dikontrol adalah:

1. Kekuatan tarik dari tulangan yang berada didalam tiang pancang menggunakan 6 D22, $f_y = 1960 \text{ kg/cm}^2$, $A_s = 3,8 \text{ cm}^2$

$$\phi = 0,75 \text{ (shear reduction factor)}$$

$$P_{nt} = A_s \times n \times f_y \times \phi$$

$$= 3,8 \times 6 \times 1960 \times 0,75 = 33516 \text{ kg}$$

$$P_{nt} = 33516 > P = 30427 \text{ kg} \quad (\text{OK})$$

2. Pancang penyaluran tulangan tiang pancang kedalam pile cap. Direncanakan panjang penyaluran adalah 15 cm

$$L = P / (n \times \pi \times d \times f_r)$$

$$f_r = 0,7\sqrt{f_c'} = 0,7\sqrt{29} = 3,77 \text{ Mpa} = 37,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$L = 30,427 / (8 \times 3,14 \times 1,6 \times 37,7) = 0,02 \text{ cm}$$

$$L_{pakai} = 15 \text{ cm} > L = 0,02 \text{ cm} \quad (\text{OK})$$

3. Kuat tarik tulangan angker pada pile cap ke balok menggunakan 4 D16, $f_y = 1960 \text{ kg/cm}^2$, $A_s = 2,01 \text{ cm}^2$

$$P_{nt} = A_s \times n \times f_y \times \phi$$

$$= 2,01 \times 8 \times 1960 \times 1,6 = 50426,88 \text{ kg}$$

$$P_{nt} = 25213,4 \text{ ton} > P = 30,427 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

4. Kebutuhan panjang penyaluran tulangan angker mengikuti panjang penyaluran tulangan tiang pancang ke pile cap yaitu 15 cm

6.6 PERHITUNGAN TRESTLE

6.6.1 Umum

Bagian-bagian dari struktur *Trestle* yang direncanakan adalah (*Preliminary Design*) :

- Panjang Trestle : 27 m
- Lebar Trestle : 6,5 m
- Tinggi Pile Cap : 1 m
- Dimensi Pile Cap Tunggal : 1,4 m x 1,4 m
- Dimesi Balok Beton Bertulang (memanjang dan melintang) : 0,6 m x 0,9 m
- Tebal Pelat Beton Bertulang : 0,3 m
- Spesifikasi Tiang Pancang : Steel Pipe Pile
Ø700 mm t = 14 mm
- Elevasi dasar dermaga : -11 mLWS
- Tinggi Struktur (dari sea bed) : 14,2 m
- Tinggi Struktur (dari Z_f) : 17,8 m
- *Point of Virtual Fixity* (Z_f) : 3,6 m (dibawah seabed)

6.6.2 Pembebanan Struktur Trestle

1. Beban mati (DL)

$$\text{Berat lapisan aspal } t = 5 \text{ cm } (q_{DL}) = 0,145 \text{ t/m}^2$$

2. Beban hidup (LL)

Beban hidup akibat air hujan = $0,05 \text{ t/m}^2$

Beban hidup akibat muatan = $2,00 \text{ t/m}^2$ (pangkalan)

3. Beban terpusat vertical

Berat pipa = 1 ton

Berat fluida minyak = $0,8 \text{ t/m}^3$

4. Beban Gempa

Lokasi dermaga TPPI terletak di kabupaten Tuban yang berada pada wilayah gempa 2. Perhitungan gaya gempa dihitung dengan cara respon spektrum dinamis pada program SAP2000 V14.0.0.

6.6.3 Kombinasi Pembebanan

Adapun kombinasi pembebanan yang direncanakan pada *loading platform* adalah sebagai berikut:

1. $1 \text{ D} + 1 \text{ L}$
2. $1 \text{ D} + 1 \text{ L} + 1 \text{ S}$
3. $1 \text{ D} + 1 \text{ L} + 1 \text{ S} + 1 \text{ GX}$
4. $1 \text{ D} + 1 \text{ L} + 1 \text{ S} + 1 \text{ GY}$

Dimana :

D : beban mati dari berat beton

L : beban hidup dari berat pangkalan dan pejalan kaki

S : beban dari pipa

GX : beban dari gempa arah X

GY : beban gempa arah Y

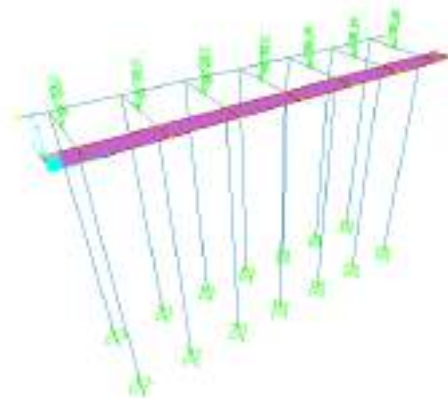
6.6.4 Permodelan Struktur SAP

Permodelan Struktur dilakukan dengan menggunakan program bantu SAP 2000. Permodelan struktur dilakukan untuk

menentukan besarnya momen, gaya geser, dan reaksi yang terjadi pada balok dan pada perletakan. Permodelan pada SAP 200 dilakukan dengan permodelan tiga dimensi dapat dilihat pada (Gambar 6.24) dan (Gambar 6.25)



Gambar 6. 24 Rencana 3D Struktur Trestle



Gambar 6. 25 Permodelan Trestle Akibat Beban Pipa

Untuk hasil rekapitulasi perhitungan struktur trestle dapat dilihat pada (**tabel 6.16**)

Tabel 6. 16 Rekapitulasi Perhitungan Struktur Trestle

STRUKTUR	FORCE	OUTPUT CASE	VALUE	UNIT	FRAME
BALOK MELINTANG 60 x 90	M tump	$D + L + P + Gy$	5402,6	Kgf-m	5
	M lap	$D + P + P + Gy$	6131,34	Kgf-m	9
	GAYA GESER	$D + L + P + Gy$	6205,7	Kgf	5
	TORSI	$D + L + P + Gx$	549,7	Kgf-m	4
BALOK MEMANJANG 60 x 90	M tump	$D + L + P + Gx$	2698,3	Kgf-m	24
	M lap	$D + P + P + Gx$	2258,4	Kgf-m	40
	GAYA GESER	$D + L + P + Gx$	3342,3	Kgf	29
	TORSI	$D + L + P + Gx$	311,84	kgf-m	46
TIANG PANCANG TEGAK D70	P (TEKAN)	$D + L + P + Gx$	5187,05	Kgf	65
	P (TARIK)	$D + L + P + Gy$	10699,62	Kgf	57
	GAYA GESER	$D + L + P + Gx$	241,48	Kgf	64
	MOMEN	$D + L + P + Gx$	2152.86	Kgf-m	66
	DEFORMASI	-	0,0033	m	67

6.6.5 Perhitungan Pondasi

Pondasi yang digunakan dalam *trestle* menggunakan *steel pipe pile*. Untuk jenis tiang pancang yang digunakan hanya tiang pancang tegak, untuk tiang pancang miring tidak digunakan karena gaya gempa pada kota Tuban tidak terlalu besar.

Titik Jepit Tiang Pancang

Data Tiang Pancang :

D1 = 700 mm	W	= 237 kg/m
D2 = 672 mm	i	= 24,3 cm
t = 14 mm	E	= 2100000 kg/cm ²
A = 301,70 cm ²	Yield Strength (fy)	= 1960 kg/cm ²
I = 176000 cm ⁴	Tensile Strength (fu)	= 4900 kg/cm ²
Z = 5070 cm ³		

Untuk jenis tanah batuan keras dengan asumsi *submerged soil*, besarnya titik jepit tiang menggunakan persamaan :

$$Z_f = 1,8T$$

$$\text{Dengan } T = \sqrt[5]{EI/nh} ; nh \text{ diambil sebesar } 12000 \text{ kN/m}^3 \\ = 1.200.000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Sehingga } T = \sqrt[5]{\frac{2100000 \times 0,00176 \text{ m}^4}{1200000}} \\ = 1,98 \text{ m}$$

- *Point of Virtual Fixity (Zf)* = 1,8 x 1,98
= 3,6 m (dibawah *seabed*)
- Tinggi Struktur = 14,2 m (diatas *seabed*)
- Tinggi Struktur (dari *Zf*) = 3,6 m + 14,2 m
= 17,8 m

Rekapitulasi gaya dalam yang terjadi pada tiang pancang dapat dilihat pada (**tabel 6.17**) di bawah ini:

Tabel 6. 17 Rekapitulasi Gaya Dalam Tiang Pancang

Tiang	Beban	Kombinasi	Besar		Frame
Tegak	P (tekan)	$D + L + P + G_x$	5187,05	Kgf	65
	P (tarik)	$D + L + P + G_y$	10699,62	Kgf	57
	V	$D + L + P + G_x$	241,48	Kgf	64
	M	$D + L + P + G_x$	2152.86	Kgf-m	66

Perencanaan tiang tekan

Berdasarkan tabel di atas, diambil nilai P_{tekan} terbesar dengan nilai 5,187 ton, sehingga :

$$Q_u = 3 \times 5,187 = 15,561 \text{ ton}$$

Dengan menggunakan grafik daya dukung tanah, kedalaman tiang yang dibutuhkan untuk memikul gaya ini adalah sedalam -13,2 m dari *seabed* atau - 24,2 mLWS.

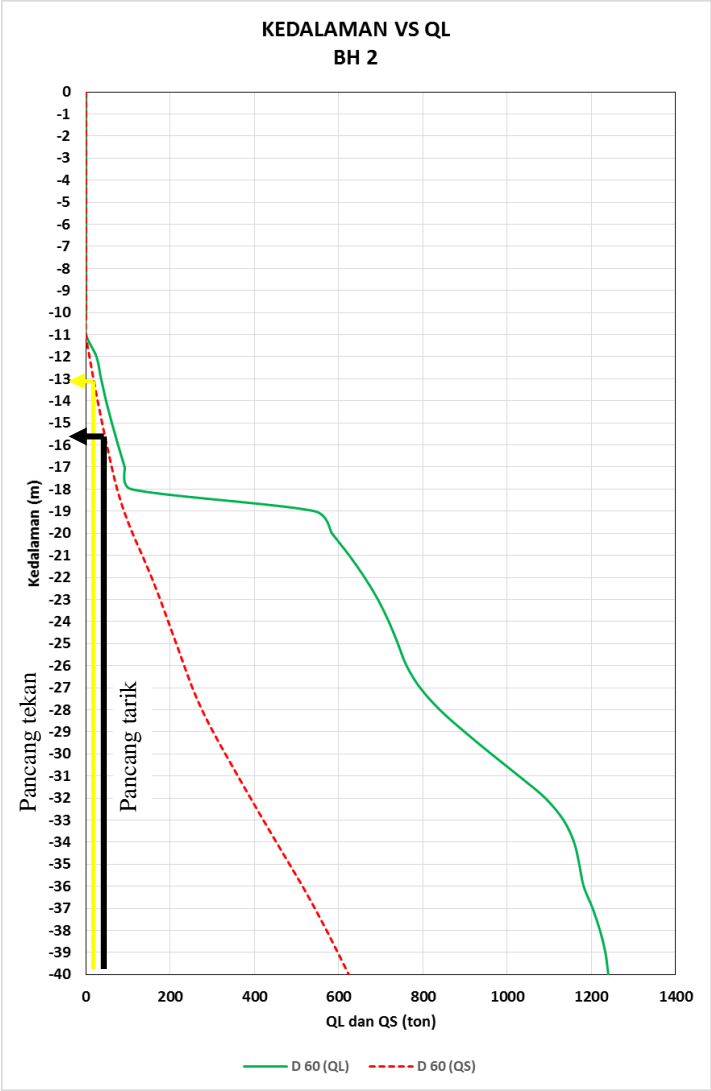
Perencanaan tiang tarik

Berdasarkan tabel di atas, diambil nilai P_{tarik} terbesar dengan nilai 62,264 ton, sehingga :

$$Q_u = 2,5 \times 10,699 = 26,74 \text{ ton}$$

Dengan menggunakan grafik daya dukung tanah, kedalaman tiang yang dibutuhkan untuk memikul gaya ini adalah sedalam -15,5 m dari *seabed* atau -26,5 mLWS.

Untuk grafik daya dukung tanah berdasarkan tiang pancang rencana dapat dilihat pada (**Grafik 6.5**)



Grafik 6. 5 Grafik Daya Dukung Tanah untuk Trestle

Maka perencanaan untuk kedalaman tiang pancang dari *trestle* ini menggunakan perhitungan manual -26,5 mLWS.

Kontrol Korosi Tiang Pancang Tegak

Korosi tiang pancang tegak diasumsikan terjadi sampai tiang ditumbuhi karang yaitu selama 10 tahun. Metode perawatan yang digunakan dengan menyediakan alokasi tebal tiang yang terkorosi yaitu setebal 3 mm. sesuai dengan aturan *OCDI* kecepatan korosi adalah 0,3 mm/tahun, sehingga :

$$\text{Diameter rencana} = 700 - 2 \times 3 = 694 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter dalam} = 672 + 2 \times 3 = 678 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang (A)} &= 0.25 \pi (D1^2 - D2^2) \\ &= 0.25 \pi (694^2 - 678^2) \\ &= 17241,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen inersia (I)} &= 1/64 \pi (D1^4 - D2^4) \\ &= 1/64 \pi (694^4 - 678^4) \\ &= 101433,4691 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Section Modulus (S}_{xy}) &= \frac{\pi \cdot (69,4^4 - 67,8^4)}{32(69,4)} \\ &= 2923,15 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Yield Strength (fy)} = 1960 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{M}_{ijin} = \text{fy} \times \text{section modulus}$$

$$= 1960 \times 2923,15$$

$$= 5729374 \text{ kgcm} = 57,29 \text{ tm}$$

$$\text{M}_{ijin} > \text{Mu} (2,152 \text{ tm}) \quad \textbf{(OK)}$$

Selain dengan menambahkan ketebalan 3mm pada tiang pancang, metode anoda korban juga merupakan salah satu teknik pengggulangan korosi.

Metode anoda korban yaitu pasokan electron dilakukan dengan cara menghubungkan tiang pancang pipa baja dengan logam lain sebagai anoda korban yang memiliki potensial yang

lebih rendah. Pada cara ini terjadi aliran electron dari logam dengan potensial yang lebih rendah ke tiang pancang baja yang potensial nya lebih tinggi. Dengan demikian maka tiang pancang pipa baja akan terlindung dari korosi namun sebagai konsekuensinya logam anoda dalam waktu tertentu akan rusak/habis dan selanjutnya dapat diganti atau diperbarui.

Perhitungan Kalendering

Perumusan kalendering yang dipakai adalah *Alfred Hilley*

Formula:

$$Qu = \frac{\alpha \times W \times H}{S + 0,5C} \times \frac{W + (n^2 \times Wp)}{W + Wp}$$

Karena perhitungan dilakukan sebelum pemancangan, maka yang dihitung adalah nilai s atau penetrasi / blow, yaitu pengamatan yang dilakukan rata – rata di tiga set terakhir, dengan 10 pukulan tiap setnya. Dan diisyaratkan apabila untuk kedalaman yang sama $S > S'$ maka pemancangan dihentikan.

Dimana :

S = nilai penetrasi/ blow rencana dari perhitungan

S' = nilai penetrasi/ blow saat pemancangan

Qu = 26,74 ton

W = 10 ton (*Hydrolic Hammer*)

H_{hammer} = 2 m, tinggi jatuh hammer untuk kondisi normal

$C1$ = 5 mm (*untuk hard cushion + packing*)

$C2$ = 10 mm (*Untuk Steel Pile*)

$C3$ = 1 mm (*Hard Ground, SPT>50*)

C = $c1 + c2 + c3$ = 16 mm

Panjang tiang pancang tegak yang dibutuhkan:

L = 17,8 + 1,7 (tinggi pasang surut) + 0,5 (tinggi jagaan)
= 20 m

$$\begin{aligned}
 W_p &= \text{berat tiang pancang (ton)} \\
 &= \text{berat per meter} \times L \\
 &= 0,237 \text{ ton/m} \times 20 \text{ m} = 4,74 \text{ ton} \\
 \alpha &= 2,5 \text{ (hydrolic hammer)} \\
 n &= 0,32 \text{ (untuk compact wood cushion on steel pile)}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 Q_u &= \frac{\alpha \cdot W \cdot H}{S + 0,5 \cdot C} \times \frac{W + n^2 \cdot W_p}{W + W_p} \\
 26,74 &= \frac{2,5 \cdot 10 \cdot 2}{S + 0,5 \cdot 0,016} \times \frac{10 + 0,32^2 \cdot 4,74}{10 + 4,474} \\
 S &= 1,35 \text{ m} = 1350 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jadi setting kalendering yang digunakan untuk tiang pancang ini adalah 1350 mm.

Kontrol kuat tekuk / kuat axial

Tiang pancang dianggap ujungnya terjepit atau fixed headed condition, kuat tekuk tiang pancang adalah:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(Z_f + e)^2}$$

Dimana,

$$\begin{aligned}
 e &= \text{jarak lateral load dengan muka tanah} \\
 &= 14,2 + 0,5 \text{ (tinggi jagaan)} \\
 &= 14,7 \text{ m} \\
 z_f &= 3,6 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 2100000 \cdot 176000}{(1470 + 360)^2} = 1089254,92 \text{ kg} = 1089,254 \text{ ton}$$

$$P_{cr} > P_u \text{ (10,699 ton)} \quad \textbf{(OK)}$$

Pile material $SF > 2$

$$SF = \frac{Resistance}{Working Load} = \frac{1089,254}{10,699} = 101,1 > 2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol Gaya Horizontal / kuat lateral

M_u ijin = 83,484 tm (lihat: *Kontrol tiang terhadap korosi*)

$$H_u = \frac{2Mu}{(Zf + e)} \quad (\text{Tomlinson})$$

Dimana,

e = jarak lateral load dengan muka tanah

$$= 14,2 + 0,5 \text{ (tinggi jagaan)}$$

$$= 14,7 \text{ m}$$

$$zf = 3,6 \text{ m}$$

$$H_u = \frac{2 \times 83,484}{(14,7 + 3,6)} = 9,12 \text{ ton}$$

$$H = 0,241 < H_u \quad (\text{OK})$$

Pile material $SF > 2$

$$SF = \frac{Resistance}{Working Load} = \frac{9,12}{0,241} = 37,8 > 2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol Kekuatan Bahan (Tegangan)

$$P = 10699,62 \text{ kg}$$

$$M = 215286 \text{ kgcm}$$

$$A = 301,7 \text{ cm}^2$$

$$W = 23700 \text{ kg/cm}$$

$$\text{Standard} = \text{JIS A 5525}$$

$$\text{Type} = \text{SKK 490}$$

$$\text{Yield Strength (fy)} = 1960 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A} + \frac{M}{W} = \frac{10699,62}{301,7} + \frac{215286}{23700} = 44,54 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\max} < \sigma_{\text{ijin}} = 1960 \text{ kg/cm}^2$$

6.6.6 Perencanaan Poer

6.6.6.1 Tipe Poer

Perencanaan poer pada struktur loading platform menggunakan poer tunggal dengan data sebagai berikut :

Panjang	= $l_y = 140 \text{ cm}$
Lebar (b)	= $l_x = 140 \text{ cm}$
Tinggi (h)	= 100 cm
ht	= $100 - d - \emptyset \text{ geser} - 0,5 \emptyset \text{ tul-lentur}$
	= $100 - 8 - 1,6 - (0,5 \cdot 1,9) = 89,45$
deck (d)	= 8 cm

Data bahan :

Mutu Beton

K	= 300 kg/cm^2
σ_{bk}	= 300 kg/cm^2
σ_b	= 99 kg/cm^2
E _b	= $6400\sqrt{300}$
	= $1,1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

Mutu Baja (U32) :

σ_{au}	= 1280 kg/cm^2	; $n = E_a / E_b = 17,54$
σ'_a	= 2780 kg/cm^2	
E _a	= $2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$	
n	= Angka ekivalensi antara modulus elastisitas baja dengan modulus tekan beton	

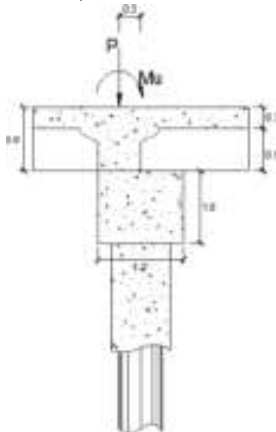
$$n = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2,1 \times 10^6}{1,1 \times 10^5} = 17,54$$

ϕ_o = Perbandingan antara tegangan baja tarik dan n kali tegangan tekan beton di serat yang paling tertekan pada keadaan seimbang.

$$\phi_o = \frac{\sigma_a}{n \cdot \sigma_b} = \frac{2780}{17,54 \cdot 99} = 1,6$$

6.6.6.2 Penulangan Poer

Dari perhitungan program SAP 2000 didapat gaya yang bekerja pada poer, kemudian dengan asumsi pelaksanaan yang sulit maka direncanakan terjadi eksentrisitas pada poer seperti terlihat pada (**Gambar 6.26**)



Gambar 6. 26 Eksentrisitas Poer Tunggal

Data gaya-gaya yang terjadi pada poer :

$$P = 6,869 \text{ ton}$$

$$M = 8,767 \text{ tm}$$

$$e_x = (b - b_{\text{balok}})/2 = (140 - 60)/2 = 40 \text{ cm}$$

$$e_y = (b - b_{\text{balok}})/2 = (140 - 60)/2 = 40 \text{ cm}$$

$$M_x = e_y \cdot P + M = 0,4 \times 6,869 + 8,767 \\ = 10,83 \text{ tm}$$

$$M_y = e_x \cdot P + M = 0,4 \times 6,869 + 8,767 \\ = 10,83 \text{ tm}$$

Perhitungan Tulangan Tumpuan dan Lapangan Poer Tunggal

$$M_{xy} = 10,83 \text{ tm}$$

Poer ini didesain sebagai pelat dengan $\delta = 0$.

$$\phi_o = 0,904$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{n \cdot Mx}{b \cdot \sigma a}\right)}} = \frac{89,45}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \cdot 108300}{120 \cdot 2780}\right)}} = 9,61$$

Dengan menggunakan nilai $\delta = 0$. dan $Ca = 9,61$, dari tabel n-lentur didapat :

$$\Phi = 6,19 > \phi_o \quad (\text{OK})$$

$$100n\omega = 1,12$$

Sehingga,

$$\omega = 1,12 / (100 \times 17,54) = 0,00063$$

Luas dan Kebutuhan Tulangan

$$\begin{aligned} As &= \omega b h \\ &= 0,00063 \times 140 \times 89,45 \\ &= 6,76 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S \text{ tulangan} &= \frac{1000 \text{ mm}}{n \text{ tulangan}} \\ &= \frac{1000 \text{ mm}}{4} = 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D19 - 250 dengan luas (11,34 cm²)

Tulangan Samping

Luas tulangan samping diambil sebesar 10% dari luas tulangan tarik (*PBI 1971 9.3.5*).

$$Asd = 10\% \times 11,34 = 1,134 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} S \text{ tulangan} &= \frac{1000 \text{ mm}}{n \text{ tulangan}} \\ &= \frac{1000 \text{ mm}}{2} = 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D16-500 ($As_{\text{pakai}} = 4,02 \text{ mm}^2$)

Cek Jarak antar Tulangan Tarik

Direncanakan menjadi satu baris tulangan dimana setiap barisnya terdapat 4 buah tulangan

$$S = \frac{b - 2d' - 2\phi_{tulgeser} - n\phi_{tullentur}}{n-1} > 6 \text{ cm}$$

$$= \frac{60 - 2(8) - 2(1,6) - 4(1,9)}{4-1} = 11,06 \text{ cm} > 6 \text{ cm (OK)}$$

Maka, pada pile cap dipasang tulangan lentur tarik dan tekan D19 - 250 (A = 13,34 cm²)

Kontrol Retak

Menurut PBI 1971 lebar retak untuk beton diluar bangunan yang tidak terlindung dari hujan dan matahari diisyaratkan besarnya tidak lebih dari 0,01cm. rumus untuk mencari lebar retak adalah sebagai berikut :

$$w = \alpha(C_3 \times c + C_4 \times \frac{d}{\omega_p})(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p})10^{-6}$$

dimana nilai ω_p dan σ_a didapat dari rumus berikut untuk balok persegi yang menerima lendut murni.

$$\omega_p = \frac{A_{s \text{ pakai}}}{b \cdot h} = \frac{11,34}{120 \times 88,95} = 0,00106$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\phi} = \frac{2780}{6,19} = 449,11$$

Dari (tabel 10.7.1 PBI '71) diperoleh nilai nilai koefisien C sebagai berikut: $C_3 = 1,5$; $C_4 = 0,16$; $C_5 = 30$

Berat baja tulangan per meter adalah $W_{\text{bar}} = 2,985 \text{ Kg/m}$;
 $d = 12,8\sqrt{W_{\text{bar}}} = 12,8\sqrt{5,185} = 29,146 \text{ mm} = 2,92 \text{ cm}$

$$w = a \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$w = 1 \left(1.5 \cdot 8 + 0.16 \cdot \frac{2,92}{0,00106} \right) \left(449,11 - \frac{30}{0,00106} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$w = -1,25$$

nilai minus, lebar retak berarti $< 0,01$ cm **(OK)**

Kemampuan Tulangan Menahan Gaya Geser Pons

$$Ah = \frac{P}{\sigma_a \cdot \mu} < A \quad (PBI '71(11.10))$$

Ah = Luas efektif tulangan horisontal yang diperlukan dengan $\mu = 1,4$

$$Ah = \frac{6869}{2780 \cdot 1,4} < A$$

Memakai 4 D19 (As pakai = $11,3 \text{ cm}^2$)

$$Ah = 2,65 \text{ cm}^2 < A = 26,4 \text{ cm}^2 \quad \textbf{(OK)}$$

$$\tau_{bp} = \frac{P}{\pi \cdot (c + ht) \cdot ht} < \tau_{bm} = 0,65 \sqrt{\sigma'_{bk}} \quad (PBI '71(11.9(2)))$$

Dimana :

P = gaya aksial \max yang bekerja pada tiang pancang

c = diameter tiang pancang = 70 cm

ht = tinggi total pilecap atau poer = 100 cm

τ_{bm} = tegangan ijin beton ($0,65 \sqrt{\sigma'_{bk}}$)

$$= 0,65 \sqrt{300} = 12,16 \text{ kg/cm}^2$$

τ_{bp} = tegangan aktual yang terjadi pada beton

Maka :

$$\tau_{bp} = \frac{6869}{\pi \cdot (70 + 100) \cdot 100} < \tau_{bm} = 0,65\sqrt{300}$$

$$\tau_{bp} = 0,12 \text{ Kg} / \text{cm}^2 < \tau_{bm} = 12 \text{ Kg} / \text{cm}^2 \quad (\text{OK})$$

Maka pile cap tunggal aman dari keruntuhan akibat gaya geser pons

Kemampuan Tulangan Terhadap Gaya Tarik antara Sambungan Tiang Pancang Pile Cap dengan Balok

Kontrol kemampuan tulangan untuk tahan terhadap gaya tarik antara sambungan tiang pancang pile cap dengan balok. Dari permodelan struktur SAP 2000 didapatkan besarnya gaya aksial sebesar:

$$P = 6869 \text{ kg}$$

Hal yang perlu dikontrol adalah :

1. Kekuatan tarik dari tulangan yang berada didalam tiang pancang menggunakan 6 D22, $f_y = 1960 \text{ kg} / \text{cm}^2$, $A_s = 3,8 \text{ cm}^2$

$$\phi = 0,75 \text{ (shear reduction factor)}$$

$$P_{nt} = A_s \times n \times f_y \times \phi$$

$$= 3,8 \times 6 \times 1960 \times 0,75 = 33516 \text{ kg}$$

$$P_{nt} = 33516 > P = 6869 \text{ kg} \quad (\text{OK})$$

2. Pancang penyaluran tulangan tiang pancang kedalam pile cap. Direncanakan panjang penyaluran adalah 15 cm

$$L = P / (n \times \pi \times d \times f_r)$$

$$f_r = 0,7\sqrt{f_c'} = 0,7\sqrt{29} = 3,77 \text{ Mpa} = 37,7 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$L = 6869 / (4 \times 3,14 \times 1,6 \times 37,7) = 9,06 \text{ cm}$$

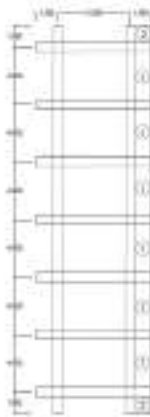
$$L_{pakai} = 15 \text{ cm} > L = 9,06 \text{ cm} \quad (\text{OK})$$

3. Kuat tarik tulangan angker pada pile cap ke balok menggunakan 4 D16, $f_y = 1960 \text{ kg/cm}^2$, $A_s = 2,01 \text{ cm}^2$
 $P_{nt} = A_s \times n \times f_y \times \emptyset$
 $= 2,01 \times 4 \times 1960 \times 1,6 = 25213,44 \text{ kg}$
 $P_{nt} = 25213,44 \text{ ton} > P = 6869 \text{ ton} \quad (\text{OK})$
4. Kebutuhan panjang penyaluran tulangan angker mengikuti panjang penyaluran tulangan tiang pancang ke pile cap yaitu 15 cm

6.6.7 Perencanaan Pelat

6.6.7.1 Penentuan Tipe Pelat

Penentuan tipe pelat didasarkan pada ukuran pelat itu sendiri (**Gambar 6.27**). Untuk pelat tipe II perencanaan momen dan penulangannya digunakan penulangan praktis dengan mengikuti tulangan pelat didekatnya.



Gambar 6. 27 Tipe Pelat Trestle

Pelat Tipe I

$$\begin{array}{llll}
 L_y & = 1,5 - 0,4 & = 1,2 \text{ m} & \\
 L_x & = 4 - 0,6 & = 3,2 \text{ m} & \left. \vphantom{\begin{array}{l} L_y \\ L_x \end{array}} \right\} L_y/L_x = 0,375
 \end{array}$$

6.6.7.2 Pembebanan Pelat

Dalam perencanaan pelat digunakan berupa beban mati terbagi rata persatuan luas, beban hidup persatuan luas, dan beban mati garis persatuan luas dan beban mati terpusat. Berikut ini adalah besarnya beban pada loading platform:

1. Beban mati akibat berat sendiri beton bertulang (QD)

$$\begin{aligned} QD &= \text{berat jenis beton bertulang} \times \text{tebal pelat} \\ &= 2,9 \times 0,3 = 0,87 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$
2. Beban hidup akibat hujan dan berat pangkalan (QL)

$$\begin{aligned} QL &= \text{beban pangkalan} + \text{beban hujan} \\ &= 2 + 0,05 = 2,05 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

6.6.7.3 Perhitungan Momen Pelat

Adapun rumusan menghitung momen pelat adalah sebagai berikut:

$$Q = QD + QL$$

Dimana,

Q = momen pelat (kg/cm^2)

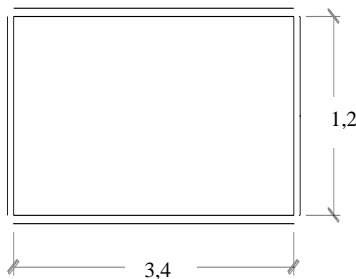
QD = beban mati akibat berat sendiri = $0,87 \text{ t/m}^2$

QL = beban hidup = $2,05 \text{ t/m}^2$

Maka,

$$Q = 0,87 + 2,05 = 2,92 \text{ t/m}^2$$

Perhitungan momen pelat tipe I (**Gambar 6.28**)



Gambar 6. 28 Pelat Tipe I

Pelat direncanakan terjepit penuh dengan balok keempat sisinya. Dari (tabel 13.3.1 PBI 1971) dapat ditentukan koefisien x untuk pelat terjepit penuh pada keempat sisinya yang dapat dilihat pada (tabel 6.18)

Tabel 6. 18 Koefisien x

Ly (m)	Lx (m)	Ly/Lx	koefisien X			
			Mlx	Mly	Mtx	Mty
1,2	3,2	0,375 (pelat dua arah)	38	43	38	43

(Sumber: PBI'71)

Berdasarkan PBI 1971 perhitungan momen pada pelat tipe I adalah sebagai berikut :

$Ml = -Mt = 0,001 (Q \times lx^2 \times X)$

Momen pelat

- Momen lapangan
Mlx = 0,001 x 2,92 x 3,2² x 38 = 1,68 tm
Mly = 0,001 x 2,92 x 3,2² x 43 = 1,92 tm

- Momen tumpuan

$M_{tx} = -0,001 \times 2,92 \times 3,2^2 \times 38$	$= -1,68 \text{ tm}$
$M_{ty} = -0,001 \times 2,92 \times 3,2^2 \times 43$	$= -1,92 \text{ tm}$

6.6.7.4 Penulangan Pelat

Dalam perhitungan penulangan pelat digunakan pelat tipe 1. Perhitungan pelat ini menggunakan perumusan dari PBI 1971. Berikut contoh perhitungan pelat dua arah:

Data Bahan:

Mutu Beton

$$\begin{aligned}
 K &= 300 \text{ kg/cm}^2 \\
 \sigma_{bk} &= 300 \text{ kg/cm}^2 \\
 \sigma_b &= 99 \text{ kg/cm}^2 \\
 E_b &= 6400\sqrt{300} \\
 &= 1,1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Mutu Baja (U32) :

$$\begin{aligned}
 \sigma_{au} &= 1280 \text{ kg/cm}^2 & ; n = E_a / E_b = 17,54 \\
 \sigma'_a &= 2780 \text{ kg/cm}^2 \\
 E_a &= 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \\
 n &= \text{Angka ekuivalensi antara modulus elastisitas baja dengan} \\
 &\text{modulus tekan beton}
 \end{aligned}$$

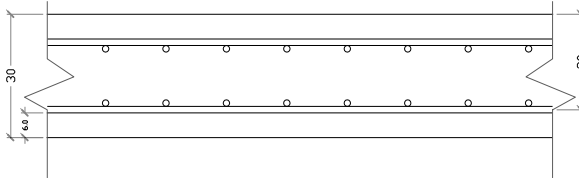
$$n = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2,1 \times 10^6}{1,1 \times 10^5} = 17,54$$

ϕ_o = Perbandingan antara tegangan baja tarik dan n kali tegangan tekan beton di serat yang paling tertekan pada keadaan seimbang.

$$\phi_o = \frac{\sigma_a}{n \cdot \sigma_b} = \frac{2780}{17,54 \cdot 99} = 1,6$$

1. Penulangan Arah Sumbu X

Gambar tinggi manfaat pelat dapat dilihat pada (**Gambar 6.29**)



Gambar 6. 29 Tinggi Manfaat Pelat

$$t = 30 \text{ cm ; decking} = 7 \text{ cm}$$

$$D = 1,6 \text{ cm}$$

$$h_x = 30 - 7 - 0,5 \times 1,6 = 22,2 \text{ cm}$$

Penulangan lapangan dan tumpuan

$$Ca = \frac{h_x}{\sqrt{\left(\frac{n \cdot M l x}{b \cdot \sigma_a}\right)}} = \frac{22,2}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \cdot 1,68 \cdot 100000}{100 \cdot 2780}\right)}} = 5,51$$

Diambil $\delta = 0$, untuk $Ca = 5,51$, dari tabel lentur "n" PBI 1971 diperoleh:

$$\Phi = 3,274 > \Phi_o \quad (\text{OK})$$

$$100n\omega = 3,574, \text{ maka } \omega = 3,574 / (100 \times 17,54) = 0,00203$$

$$A_s = \omega b h$$

$$= 0,00203 \times 100 \times 22,2 = 4,51 \text{ cm}^2$$

$$S \text{ tulangan} = \frac{1000 \text{ mm}}{n \text{ tulangan}}$$

$$= \frac{1000 \text{ mm}}{3} = 333,33 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan D16 - 250 dengan luas (6,03 cm²)

Kontrol retak

Perhitungan lebar retak dihitung dengan menggunakan perumusan berikut :

$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d_p}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6}$$

dimana nilai ω_p dan σ_a didapat dari rumus berikut untuk balok persegi yang menerima lentur murni

$$\omega_p = \frac{A_{pakai}}{b \cdot h} = \frac{6,03}{100 \cdot 22,2} = 0,00272$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\Phi} = \frac{2780}{3,274} = 849,11$$

dari (tabel 10.7.1 PBI 1971) diperoleh nilai koefisien C sebagai berikut:

$$C_3 = 1.50; C_4 = 0.16; C_5 = 30$$

berat baja tulangan per meter adalah $w_{bar} = 1,552$ kg/m

$$d_p = 12,8 \sqrt{w_{bar}} = 12,8 \sqrt{1,552} = 15,95$$

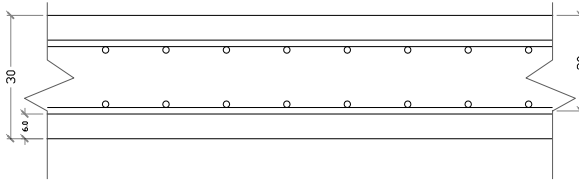
$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d_p}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$w = 1 \cdot \left(1,50 \cdot 7 + 0,16 \cdot \frac{15,95}{0,00633} \right) \left(849,11 - \frac{30}{0,00272} \right) \cdot 10^{-6} = -4,35 \text{ cm}$$

Nilai minus, lebar retak < 0.01 cm.

2. Penulangan Arah Sumbu Y

Gambar tinggi manfaat pelat dapat dilihat pada **(Gambar 6.30)**



Gambar 6. 30 Tinggi Manfaat Pelat

$$t = 30 \text{ cm ; decking} = 7 \text{ cm}$$

$$D = 1,6 \text{ cm}$$

$$h_y = 30 - 7 - 1,6 - (0,5 \times 1,6) = 20,6 \text{ cm}$$

Penulangan lapangan dan tumpuan

$$Ca = \frac{h_y}{\sqrt{\left(\frac{n \cdot Mly}{b \cdot \sigma_a}\right)}} = \frac{20,6}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \cdot 1,92 \cdot 100000}{100 \cdot 2780}\right)}} = 4,82$$

Diambil $\delta = 0$, untuk $Ca = 4,82$, dari tabel lentur "n" PBI 1971 diperoleh:

$$\Phi = 2,788 > \Phi_o \text{ (OK)}$$

$$100n\omega = 4,734, \text{ maka } \omega = 4,734 / (100 \times 17,54) = 0,00269$$

$$As = \omega b h$$

$$= 0,00269 \times 100 \times 20,6 = 5,54 \text{ cm}^2$$

$$S \text{ tulangan} = \frac{1000 \text{ mm}}{n \text{ tulangan}}$$

$$= \frac{1000 \text{ mm}}{3}$$

$$= 333,33 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan D16 - 250 dengan luas (6,03 cm²)

Kontrol retak

Perhitungan lebar retak dihitung dengan menggunakan perumusan berikut :

$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d_p}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6}$$

dimana nilai ω_p dan σ_a didapat dari rumus berikut untuk balok persegi yang menerima lentur murni

$$\omega_p = \frac{A_{pakai}}{b \cdot h} = \frac{6,03}{100 \cdot 20,6} = 0,00297$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\Phi} = \frac{2780}{2,788} = 997,13$$

dari (tabel 10.7.1 PBI 1971) diperoleh nilai koefisien C sebagai berikut:

$$C_3 = 1.50; C_4 = 0.16; C_5 = 30$$

berat baja tulangan per meter adalah $w_{bar} = 1,552$ kg/m

$$d_p = 12,8 \sqrt{w_{bar}} = 12,8 \sqrt{1,552} = 15,95$$

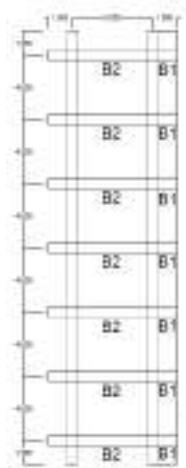
$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d_p}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$w = 1 \cdot \left(1,50 \cdot 7 + 0,16 \cdot \frac{15,95}{0,00585} \right) \left(997,13 - \frac{30}{0,00585} \right) \cdot 10^{-6} = -8,2 \text{ cm}$$

Nilai minus, lebar retak < 0.01 cm.

6.6.8 Perhitungan Balok

Dalam perencanaan balok untuk *trestle*, tipe balok dibagi menjadi 2 tipe didasarkan pada luasan beban yang diterima oleh balok tersebut. Balok yang berada dipinggir (untuk momen penulangannya dikategorikan sebagai balok praktis dikarenakan balok – balok tersebut memiliki bentang yang kecil. Sehingga balok yang perlu direncanakan adalah balok B1 dan B2. Untuk denah pembalokan dapat dilihat pada (**Gambar 6.31**)



Gambar 6. 31 Denah Pembalokan Trestle

6.6.8.1 Perhitungan Tulangan Balok Melintang

Data Perencanaan Balok Melintang

1. Mutu Beton = K 300
 - K = 300 kg/cm²
 - σ_{bk} = 300 kg/cm²
 - σ_b = 99 kg/cm²
 - E_b = $6400\sqrt{300} = 1,1 \times 10^5$ kg/cm²
2. Mutu Baja Tulangan = U 32
 - Diameter tulangan lentur = 19 mm
 - Diameter tulangan geser = 16 mm

$$\begin{aligned}
 \sigma_{au} &= 1280 \text{ kg/cm}^2 \\
 \sigma'_a &= 2780 \text{ kg/cm}^2 \\
 E_a &= 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \\
 n &= E_a / E_b = 17,54 \\
 \phi_o &= \frac{\sigma_a}{n \cdot \sigma_b} = \frac{2780}{17,54 \cdot 99} = 1,6
 \end{aligned}$$

3. Dimensi Balok Melintang

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar (b)} &= 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m} \\
 \text{Tinggi (h)} &= 90 \text{ cm} = 0,9 \text{ m} \\
 \text{Panjang (L)} &= 500 \text{ cm} = 5 \text{ m} \\
 \text{Selimut beton (d')} &= 8 \text{ cm} = 0,08 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4. Momen dan Gaya Geser Balok Melintang

Dari hasil permodelan struktur didapat momen dan gaya geser sebesar :

$$\begin{aligned}
 \text{Mu lapangan} &= 6131,34 \text{ kgm} \\
 \text{Mu tumpuan} &= 5402,6 \text{ kgm} \\
 \text{Vu} &= 6205,7 \text{ kg} \\
 \text{Tu} &= 549,7 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

5. Panjang Tumpuan dan Lapangan

Panjang tumpuan dianggap $0,25L$ sedangkan panjang lapangan dianggap $0,5L$. Maka :

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang tumpuan} &= 0,25L = 0,25 (500) = 125 \text{ cm} \\
 \text{Panjang lapangan} &= 0,5L = 0,5 (500) = 150 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Tulangan Lentur

Bagian tumpu balok, serat paling atas mengalami tarik sedangkan serat paling bawah mengalami tekan. Bagian lapangan balok, serat paling atas mengalami tekan sedangkan serat bawah mengalami tarik. Untuk perbandingan kebutuhan luasan tulangan tarik dan tekan ditentukan sebesar ($\delta = 0,4$).

$$\begin{aligned}
 n &= E_a/E_b = 2100000/119733 = 17,54 \\
 b &= 60 \text{ cm} \\
 h' &= h - d' - \varnothing_{\text{tulgeser}} - 0,5\varnothing_{\text{tullentur}} \\
 &= 90 - 8 - 1,6 - 1,9 = 78,5 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

a. Perhitungan Tulangan Tumpuan

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{n \cdot Mt}{b \cdot \sigma_a}\right)}} = \frac{78,5}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \cdot 5402,6}{0,6 \cdot 2780}\right)}} = 8,38$$

Dengan melihat tabel Perhitungan Lentur Cara “n” untuk nilai $Ca = 8,38$ dengan $\delta = 0,4$, maka didapatkan nilai sebagai berikut :

$$\varnothing = 5,25$$

$$\varnothing > \varnothing_o \quad (\text{OK})$$

$$100n\omega = 1,569$$

$$\omega = 1,569/1754 = 0,000894$$

Tulangan Tarik

$$A_s = \omega b h'$$

$$= 0,000894 \times 60 \times 78,5$$

$$= 4,157 \text{ cm}^2$$

Dipasang 4-D19 dengan luas (11,3 cm²).

Tulangan Tekan

$$A' = \delta A_s$$

$$= 0,4 \times 11,3$$

$$= 1,13 \text{ cm}^2$$

Dipasang 3-D19 dengan luas (8,51 cm²).

Tulangan Samping

$A_s = 10\% A_s$
 $= 0,1 \times 11,3 = 1,13 \text{ cm}^2$
 Dipasang 2-D16 dengan luas (4,02 cm²).

Cek Jarak Tulangan Tarik

$$s = \frac{B - 2x_{\text{decking}} - 2x_{\phi \text{ sengkang}} - nx_{\phi \text{ tulangan}}}{n - 1} > 6$$

$$s = \frac{60 - 2 \times 8 - 2 \times 1,6 - 4 \times 1,9}{4 - 1} = 11,6 \text{ cm} > 6 \text{ cm (OK)}$$

Maka, pada tulangan tumpuan balok melintang dipasang tulangan lentur tarik 4 D19 (A = 11,3 cm²) dan tulangan lentur tekan 3 D19 (A = 8,51 cm²)

Kontrol Retak

Menurut PBI 1971 lebar retak untuk beton diluar bangunan yang tidak terlindung dari hujan dan matahari diisyaratkan besarnya tidak lebih dari 0,01cm. rumus untuk mencari lebar retak adalah sebagai berikut :

$$w = \alpha (C_3 \times c + C_4 \times \frac{d}{\omega_p}) (\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p}) 10^{-6}$$

dimana nilai ω_p dan σ_a didapat dari rumus berikut untuk balok persegi yang menerima lendut murni.

$$\omega_p = \frac{A_{s \text{ pakai}}}{b \cdot h} = \frac{11,3}{60 \times 78,5} = 0,00568$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\phi} = \frac{2780}{5,25} = 529,52$$

dari (tabel 10.7.1 PBI '71) diperoleh nilai nilai koefisien C sebagai berikut: C₃ = 1,5 ; C₄ = 0,07 ; C₅ = 30

Berat baja tulangan per meter adalah $W_{\text{bar}} = 5,185 \text{ Kg/m}$; $d = 12,8 \sqrt{W_{\text{bar}}} = 12,8 \sqrt{5,185} = 29,14 \text{ mm} = 2,915 \text{ cm}$

$$w = a \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$w = 1 \left(1.5 \cdot 8 + 0.07 \cdot \frac{2,915}{0.00568} \right) \left(529,52 - \frac{30}{0.00568} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$w = -0,08$$

nilai minus, lebar retak berarti $< 0,01$ cm **(OK)**

b. Perhitungan Tulangan Lapangan

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{n \cdot Mlx}{b \cdot \sigma_a} \right)}} = \frac{78,5}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \cdot 6131,34}{0,6 \cdot 2780} \right)}} = 7,87$$

Dengan menggunakan nilai $\delta = 0,4$ dan $Ca = 7,87$, dari tabel n-lentur didapat :

$$\Phi = 5,06 > \phi_o \quad \textbf{(OK)}$$

$$100n\omega = 1,68$$

Sehingga,

$$\omega = 1,68 / (100 \times 17,54) = 0,000957$$

Luas Tulangan Tarik :

$$\begin{aligned} A_s &= \omega b h \\ &= 0,000957 \times 60 \times 78,5 \\ &= 4,52 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai 4-D19 ($A_{s \text{ pakai}} = 11,3 \text{ cm}^2$)

Luas Tulangan Tekan :

$$\begin{aligned} A_s' &= \delta \times A_s \\ &= 0,4 \times 11,3 \\ &= 4,52 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai 3-D19 ($A_{s \text{ pakai}} = 8,5 \text{ cm}^2$)

Tulangan Samping

$A = 10\% A_s$
 $= 0,1 \times 11,3 = 1,32 \text{ cm}^2$
 Dipasang 2-D16 dengan luas (4,021 cm²).

Cek Jarak Tulangan Tarik

$$s = \frac{B - 2x_{\text{decking}} - 2x_{\phi \text{sengkang}} - nx_{\phi \text{tulangan}}}{n-1} > 6$$

$$s = \frac{60 - 2 \times 8 - 2 \times 1,6 - 2 \times 1,9}{4-1} = 11,6 \text{ cm} > 6 \text{ cm (OK)}$$

Kontrol Retak

Besar lebar retak yang terjadi adalah $-0,08 < 0,01 \text{ cm (OK)}$

Maka, pada tulangan lapangan balok melintang dipasang tulangan lentur tarik 4D 19 ($A = 11,3 \text{ cm}^2$) dan tulangan letur tekan 3D 19 ($A' = 8,5 \text{ cm}^2$).

Kontrol Dimensi Balok

$$\tau_b = \frac{V}{b \cdot \frac{7}{8} \cdot h} = \frac{6205,7}{60 \cdot \frac{7}{8} \cdot 78,5} = 1,5 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

Untuk $h > b$

$$\psi = 3 + \frac{2,6}{0,45 + \frac{h}{b}} = 3 + \frac{2,6}{0,45 + \frac{90}{60}} = 4,33$$

Tegangan geser puntir beton pada penampang balok persegi di tengah tepi penampang yang vertikal (PBI '71 Pasal 11.8.1):

$$\tau'_b = \frac{\psi \cdot T}{b^2 \cdot ht} = \frac{4,33 \cdot 54970}{60^2 \cdot 90} = 0,73 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$\tau_{bm} = 1,62\sqrt{300} = 28,05 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$\tau_b + \tau'_b = 1,5 + 0,73 = 2,23 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$\tau_b + \tau'_b < \tau_{bm} \quad \textbf{(OK)} \text{ Ukuran balok } 60/90 \text{ memenuhi syarat.}$$

Perhitungan Tulangan Geser

$$\tau_b = \frac{V}{b \cdot \frac{7}{8} \cdot h} = \frac{6205,7}{60 \cdot \frac{7}{8} \cdot 78,5} = 1,5 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

Tegangan beton yang diijinkan berdasarkan (*PBI 1971 tabel 10.4.2*) akibat geser oleh lentur dan puntir dengan tulangan geser:

Untuk pembebanan tetap

$$\tau'_{bm-t} = 1,35\sqrt{\sigma'_{bk}} = 1,35\sqrt{300} = 23,38 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

Untuk pembebanan sementara

$$\tau'_{bm-t} = 2,12\sqrt{\sigma'_{bk}} = 2,12\sqrt{300} = 36,66 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

Tulangan Geser pada Tumpuan Balok

$$\left. \begin{array}{l} \tau_b < \tau'_{bm-t} \\ \tau_b < \tau'_{bm-s} \end{array} \right\} \textbf{Ok, diperlukan sengkang!}$$

Direncanakan sengkang:

$$D = 16 \text{ mm}$$

$$A_s = 2,0096 \text{ cm}^2$$

$$2 A_s = 4,02 \text{ cm}^2 \text{ (Sengkang 2 kaki)}$$

$$\sigma_a = 2780 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\tau_b = \frac{(2,5-0,3)}{2,5} 1,5 = 1,32 \text{ Kg} / \text{cm}^2 \quad (L = 5 \text{ m})$$

$$as < \frac{As \cdot \sigma_a}{\tau_b \cdot b} = \frac{4,02 \cdot 2780}{1,32 \cdot 60} = 93,9cm = 1000mm \approx 250mm$$

Maka dipasang tulangan geser pada tumpuan D16-250.

Sengkan di daerah > 1 m dari ujung balok 4,4 m

$$\tau_b = \frac{(2,2 - 1)}{2,2} 1,5 = 0,81 Kg / cm^2$$

$$as < \frac{As \cdot \sigma_a}{\tau_b \cdot b} = \frac{4,02 \cdot 1850}{0,81 \cdot 60} = 153,02cm = 1500mm \approx 250mm$$

Maka dipasang tulangan geser pada daerah >1m dari ujung D16-250.

Panjang Tulangan Penyaluran

1. Tulangan Tarik

Berdasarkan (PBI 1971 pasal 8.6.2) diambil nilai terbesar dari persamaan berikut ini:

$$As_{D19} = 2,83 \text{ cm}^2$$

$$L_d = 0,07 \frac{A \cdot \sigma_{au}^*}{\sqrt{\sigma'_{bk}}} \geq 0,0065 \cdot d_p \cdot \sigma_{au}$$

$$L_d = 0,07 \frac{2,83 \cdot 1280}{\sqrt{300}} \geq 0,0065 \cdot 1,9 \cdot 1280$$

$$L_d = 29,4cm \leq 34,33cm$$

Maka digunakan panjang penyaluran tulangan untuk tulangan tarik adalah 35 cm.

2. Tulangan Tekan

Berdasarkan (*PBI 1971 pasal 8.7.2*) diambil nilai terbesar dari persamaan berikut ini :

$$A_s D19 = 2,83 \text{ cm}^2$$

$$L_d = 0,09 \frac{d \cdot \sigma_{au}^*}{\sqrt{\sigma_{bk}'}} \geq 0,005 \cdot d_p \cdot \sigma_{au}$$

$$L_d = 0,09 \frac{2,83 \cdot 1280}{\sqrt{300}} \geq 0,005 \cdot 1,9 \cdot 1280$$

$$L_d = 37,84 \text{ cm} \geq 26,41$$

Maka digunakan panjang penyaluran tulangan untuk tulangan tekan adalah 40 cm.

6.6.8.2 Perhitungan Tulangan Balok Memanjang

Data Perencanaan Balok Memanjang

1. Mutu Beton = K 300

$$K = 300 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{bk} = 300 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = 99 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_b = 6400 \sqrt{300} = 1,1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

2. Mutu Baja Tulangan = U 32

$$\text{Diameter tulangan lentur} = 19 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan geser} = 16 \text{ mm}$$

$$\sigma_{au} = 1280 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a' = 2780 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_a = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = E_a / E_b = 17,54$$

$$\phi_o = \frac{\sigma_a}{n \cdot \sigma_b} = \frac{2780}{17,54 \cdot 99} = 1,6$$

3. Dimensi Balok Memanjang

$$\begin{aligned}\text{Lebar (b)} &= 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m} \\ \text{Tinggi (h)} &= 90 \text{ cm} = 0,9 \text{ m} \\ \text{Panjang (L)} &= 400 \text{ cm} = 4 \text{ m} \\ \text{Selimut beton (d')} &= 8 \text{ cm} = 0,08 \text{ m}\end{aligned}$$

4. Momen dan Gaya Geser Balok Memanjang

Dari hasil permodelan struktur didapat momen dan gaya geser sebesar :

$$\begin{aligned}\text{Mu lapangan} &= 2258,4 \text{ kgm} \\ \text{Mu tumpuan} &= 2698,3 \text{ kgm} \\ \text{Vu} &= 3342,3 \text{ kg} \\ \text{Tu} &= 311,84 \text{ kgm}\end{aligned}$$

5. Panjang Tumpuan dan Lapangan

Panjang tumpuan dianggap $0,25L$ sedangkan panjang lapangan dianggap $0,5L$. Maka :

$$\begin{aligned}\text{Panjang tumpuan} &= 0,25L = 0,25 (400) = 125 \text{ cm} \\ \text{Panjang lapangan} &= 0,5L = 0,5 (400) = 150 \text{ cm}\end{aligned}$$

Perhitungan Tulangan Lentur

Bagian tumpu balok, serat paling atas mengalami tarik sedangkan serat paling bawah mengalami tekan. Bagian lapangan balok, serat paling atas mengalami tekan sedangkan serat bawah mengalami tarik. Untuk perbandingan kebutuhan luasan tulangan tarik dan tekan ditentukan sebesar ($\delta = 0,4$).

$$\begin{aligned}n &= E_a/E_b = 2100000/119733 = 17,54 \\ b &= 60 \text{ cm} \\ h' &= h - d' - \phi_{\text{tulgeser}} - 0,5\phi_{\text{tullentur}} \\ &= 90 - 8 - 1,6 - 1,9 = 78,5 \text{ cm}\end{aligned}$$

a. Perhitungan Tulangan Tumpuan

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{n \cdot Mt}{b \cdot \sigma a}\right)}} = \frac{78,5}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \cdot 2698,3}{0,6 \cdot 2780}\right)}} = 12,1$$

Dengan melihat tabel Perhitungan Lentur Cara “n” untuk nilai $Ca = 12,1$ dengan $\delta = 0,4$, maka didapatkan nilai sebagai berikut:

$$\emptyset = 8,09$$

$$\emptyset > \emptyset_o \quad (\text{OK})$$

$$100n\omega = 0,683$$

$$\omega = 0,683/1754 = 0,000389$$

Tulangan Tarik

$$As = \omega b h'$$

$$= 0,000389 \times 60 \times 79,45$$

$$= 1,85 \text{ cm}^2$$

Dipasang 4-D19 dengan luas ($11,3 \text{ cm}^2$).

Tulangan Tekan

$$A' = \delta As$$

$$= 0,4 \times 11,3$$

$$= 1,13 \text{ cm}^2$$

Dipasang 3-D19 dengan luas ($8,51 \text{ cm}^2$).

Tulangan Samping

$$A = 10\% As$$

$$= 0,1 \times 11,3 = 1,13 \text{ cm}^2$$

Dipasang 2-D16 dengan luas ($4,02 \text{ cm}^2$).

Cek Jarak Tulangan Tarik

$$s = \frac{B - 2x_{\text{decking}} - 2x_{\phi_{\text{sengkang}}} - nx_{\phi_{\text{tulangan}}}}{n-1} > 6$$

$$s = \frac{60 - 2 \times 8 - 2 \times 1,6 - 4 \times 1,9}{4-1} = 11,6 \text{ cm} > 6 \text{ cm (OK)}$$

Maka, pada tulangan tumpuan balok memanjang dipasang tulangan lentur tarik 4 D19 (A = 11,3 cm²) dan tulangan letur tekan 3 D19 (A = 8,51 cm²).

Kontrol Retak

Menurut PBI 1971 lebar retak untuk beton diluar bangunan yang tidak terlindung dari hujan dan matahari diisyaratkan besarnya tidak lebih dari 0,01cm. rumus untuk mencari lebar retak adalah sebagai berikut :

$$w = \alpha (C_3 \times c + C_4 \times \frac{d}{\omega_p}) (\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p}) 10^{-6}$$

dimana nilai ω_p dan σ_a didapat dari rumus berikut untuk balok persegi yang menerima lendut murni.

$$\omega_p = \frac{A_{s_{pakai}}}{b \cdot h} = \frac{11,3}{60 \times 78,5} = 0,00568$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\phi} = \frac{2780}{8,09} = 343,63$$

dari (tabel 10.7.1 PBI '71) diperoleh nilai nilai koefisien C sebagai berikut: $C_3 = 1,5$; $C_4 = 0,07$; $C_5 = 30$

Berat baja tulangan per meter adalah $W_{\text{bar}} = 5,185 \text{ Kg/m}$; $d = 12,8 \sqrt{W_{\text{bar}}} = 12,8 \sqrt{5,185} = 29,14 \text{ mm} = 2,915 \text{ cm}$

$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$w = 1 \left(1.5 \cdot 8 + 0.07 \cdot \frac{2,915}{0.00568} \right) \left(343,6 - \frac{30}{0.00568} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$w = -0,09$$

nilai minus, lebar retak berarti $< 0,01$ cm (**OK**)

b. Perhitungan Tulangan Lapangan

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{n \cdot Mlx}{b \cdot \sigma a} \right)}} = \frac{78,5}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \cdot 2258,4}{0,6 \cdot 2780} \right)}} = 13,2$$

Dengan melihat tabel Perhitungan Lentur Cara “n” untuk nilai $Ca = 12,1$ dengan $\delta = 0,4$, maka didapatkan nilai sebagai berikut:

$$\emptyset = 8,09$$

$$\emptyset > \emptyset_o \quad (\mathbf{OK})$$

$$100n\omega = 0,683$$

$$\omega = 0,683/1754 = 0,000389$$

Luas Tulangan Tarik :

$$As = \omega b h$$

$$= 0,000957 \times 60 \times 78,5$$

$$= 4,52 \text{ cm}^2$$

Dipakai 4 D19 ($As_{\text{pakai}} = 11,3 \text{ cm}^2$)

Luas Tulangan Tekan :

$$As' = \delta \times As$$

$$= 0,4 \times 11,3$$

$$= 4,52 \text{ cm}^2$$

Dipakai 3 D19 ($As_{\text{pakai}} = 8,5 \text{ cm}^2$)

Tulangan Samping

$$A = 10\% As$$

$$= 0,1 \times 11,3 = 1,32 \text{ cm}^2$$

Dipasang 2-D16 dengan luas ($4,021 \text{ cm}^2$).

Cek Jarak Tulangan Tarik

$$s = \frac{B - 2x_{\text{decking}} - 2x\phi_{\text{sengkang}} - nx\phi_{\text{tulangan}}}{n-1} > 6$$

$$s = \frac{60 - 2 \times 8 - 2 \times 1,6 - 2 \times 1,9}{4-1} = 11,6 \text{ cm} > 6 \text{ cm (OK)}$$

Kontrol Retak

Besar lebar retak yang terjadi adalah $-0,9 < 0,01 \text{ cm (OK)}$

Maka, pada tulangan lapangan balok memanjang dipasang tulangan lentur tarik 4D 19 ($A = 11,3 \text{ cm}^2$) dan tulangan letur tekan 3D 19 ($A' = 8,5 \text{ cm}^2$).

Kontrol Dimensi Balok

$$\tau_b = \frac{V}{b \cdot \frac{7}{8} \cdot h} = \frac{3342,3}{60 \cdot \frac{7}{8} \cdot 78,5} = 0,81 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

Untuk $h > b$

$$\psi = 3 + \frac{2,6}{0,45 + \frac{h}{b}} = 3 + \frac{2,6}{0,45 + \frac{90}{60}} = 4,33$$

Tegangan geser puntir beton pada penampang balok persegi di tengah tepi penampang yang vertikal (*PBI '71 Pasal 11.8.1*):

$$\tau'_b = \frac{\psi \cdot T}{b^2 \cdot ht} = \frac{4,33 \cdot 31184}{60^2 \cdot 90} = 0,42 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$\tau_{bm} = 1,62\sqrt{300} = 28,05 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$\tau_b + \tau'_b = 1,5 + 0,42 = 1,94 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$\tau_b + \tau'_b < \tau_{bm} \quad \text{(OK) Ukuran balok 60/90 memenuhi syarat.}$$

Perhitungan Tulangan Geser

$$\tau_b = \frac{V}{b \cdot \frac{7}{8} \cdot h} = \frac{3342,3}{60 \cdot \frac{7}{8} \cdot 78,5} = 0,81 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

Tegangan beton yang diijinkan berdasarkan (*PBI 1971 tabel 10.4.2*) akibat geser oleh lentur dan puntir dengan tulangan geser:

Untuk pembebanan tetap

$$\tau'_{bm-t} = 1,35 \sqrt{\sigma'_{bk}} = 1,35 \sqrt{300} = 23,38 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

Untuk pembebanan sementara

$$\tau'_{bm-t} = 2,12 \sqrt{\sigma'_{bk}} = 2,12 \sqrt{300} = 36,77 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

Tulangan Geser pada Tumpuan Balok

$$\left. \begin{array}{l} \tau_b < \tau'_{bm-t} \\ \tau_b < \tau'_{bm-s} \end{array} \right\} \text{Ok, diperlukan sengkang!}$$

Direncanakan sengkang:

$$D = 16 \text{ mm}$$

$$A_s = 2,0096 \text{ cm}^2$$

$$2 A_s = 4,02 \text{ cm}^2 \text{ (Sengkang 2 kaki)}$$

$$\sigma_a = 2780 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\tau_b = \frac{(2-0,3)}{2} 0,81 = 0,689 \text{ Kg} / \text{cm}^2 \quad (L = 4 \text{ m})$$

$$a_s < \frac{A_s \cdot \sigma_a}{\tau_b \cdot b} = \frac{4,02 \cdot 2780}{0,689 \cdot 60} = 179,9 \text{ cm} = 1500 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan geser pada tumpuan D16-250.

Sengkan di daerah > 1 m dari ujung balok 3,4 m

$$\tau_b = \frac{(1,7 - 1)}{1,7} 0,81 = 0,33 \text{ Kg / cm}^2$$

$$as < \frac{As \cdot \sigma_a}{\tau_b \cdot b} = \frac{4,02 \cdot 2780}{0,33 \cdot 60} = 375 \text{ cm} = 3750 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan geser pada daerah > 1 m dari ujung D16-250.

Panjang Tulangan Penyaluran

1. Tulangan Tarik

Berdasarkan (*PBI 1971 pasal 8.6.2*) diambil nilai terbesar dari persamaan berikut ini:

$$As \text{ D19} = 2,83 \text{ cm}^2$$

$$L_d = 0,07 \frac{A \cdot \sigma_{au}^*}{\sqrt{\sigma'_{bk}}} \geq 0,0065 \cdot d_p \cdot \sigma_{au}$$

$$L_d = 0,07 \frac{2,83 \cdot 1280}{\sqrt{300}} \geq 0,0065 \cdot 1,9 \cdot 1280$$

$$L_d = 29,4 \text{ cm} \leq 34,33 \text{ cm}$$

Maka digunakan panjang penyaluran tulangan untuk tulangan tarik adalah 35 cm.

2. Tulangan Tekan

Berdasarkan (*PBI 1971 pasal 8.7.2*) diambil nilai terbesar dari persamaan berikut ini :

$$As \text{ D19} = 2,83 \text{ cm}^2$$

$$L_d = 0,09 \frac{d \cdot \sigma_{au}^*}{\sqrt{\sigma'_{bk}}} \geq 0,005 \cdot d_p \cdot \sigma_{au}$$

$$L_d = 0,09 \frac{2,83 \cdot 1280}{\sqrt{300}} \geq 0,005 \cdot 1,9 \cdot 1280$$

$$L_d = 37,84\text{cm} \geq 26,41$$

Maka digunakan panjang penyaluran tulangan untuk tulangan tekan adalah 40 cm.

6.6.8.3 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tulangan Balok

Berikut adalah hasil perhitungan keperluan tulangan lentur dan geser pada balok melintang dan memanjang yang dapat dilihat pada **(tabel 6.19)**

Tabel 6. 19 Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Balok

Struktur	Tulangan Lentur			
	Posisi	Letak	Tulangan Pakai	Tulangan Penyaluran
Balok Melintang	Tumpuan	Atas	4-D 19	35 cm
		Bawah	3-D 19	40 cm
	Lapangan	Atas	3-D 19	35 cm
		Bawah	4-D 19	40 cm
Balok Memanjang	Tumpuan	Atas	4-D 19	35 cm
		Bawah	3-D 19	40 cm
	Lapangan	Atas	3-D 19	35 cm
		Bawah	4-D 19	40 cm
Struktur	Tulangan Geser			
	Posisi	Letak	Tulangan Pakai	Tulangan Penyaluran
Balok Melintang	Tumpuan	-	D 16-250	-
	Lapangan		D 16-250	
Balok Memanjang	Tumpuan		D 16-250	
	Lapangan		D 16-250	

BAB VII

ANALISA WBS DAN RENCANA ANGGARAN BIAYA

7.1 Work Breakdown Structure

WBS (*Work Breakdown Structure*) merupakan suatu metode pengorganisaian proyek menjadi struktur pelaporan hierarkis. WBS digunakan untuk melakukan *Breakdown* atau memecahkan tiap proses pekerjaan menjadi lebih detail. Hal ini dimaksudkan agar proses perencanaan proyek memiliki tingkat yang lebih baik. dan membantu membuat rencana jadwal dan anggaran, sehingga biaya dan kinerja dapat ditelusuri.

7.2 Penyusunan WBS (*Work Breakdown Structure*)

Dalam perencanaan WBS, tahapan tiap pekerjaan yang disusun meliputi:

1. Pekerjaan persiapan
2. Pekerjaan trestle
3. Pekerjaan mooring dolphin
4. Pekerjaan loading platform
5. Pekerjaan breasting dolphin
6. Pekerjaan catwalk

Adapun rincian perencanaan WBS dermaga TPPI Tuban, adalah sebagai berikut:

(Data hasil dari WBS terlampir)

7.3 Rencana Anggaran Biaya

Pada Bab Rencana Anggaran Biaya ini dijelaskan mengenai tata cara dalam analisis biaya keseluruhan pembangunan dermaga. Adapun prosedurnya adalah sebagai berikut :

1. Penentuan harga material dan upah.
2. Analisis harga satuan.
3. Perhitungan volume pekerjaan dan rencana anggaran biaya.

7.4 Harga Material dan Upah

Harga material dan upah yang digunakan berasal dari “Peraturan Menteri Perhubungan PM 78 Tahun 2014“. Untuk Kota Tuban harga yang telah ditetapkan dikalikan dengan nilai koefisien kemahalan standart biaya kementerian perhubungan tahun 2015 sebesar 0.08. berikut ini adalah rincian daftar harga upah pekerja (**Tabel 7.1**), daftar harga material dan peralatan (**Tabel 7.2**) dan harga sewa peralatan (**Tabel 7.3**).

Tabel 7. 1 Upah Tenaga Kerja

No.	Jenis Pekerjaan	Satuan	Harga Satuan
1	Mandor	O.H.	Rp 99,190.71
2	Kepala Tukang	O.H.	Rp 87,677.51
3	Tukang	O.H.	Rp 76,143.77
4	Pembantu Tukang	O.H.	Rp 45,796.00
5	Operator	O.H.	Rp 76,154.04
6	Pembantu Operator	O.H.	Rp 45,796.00
7	Tukang Las	O.H.	Rp 76,154.04
8	Juru Ukur	O.H.	Rp 69,308.61
9	Sekretaris	O.H.	Rp 1,284,000.00
10	Satpam	O.H.	Rp 45,796.00

Tabel 7. 2 Daftar Harga Material dan Peralatan

No.	Jenis Material	Satuan	Harga Satuan
Semen Ready Mix			
1	Semen Portland	sak	Rp 49,362.10
2	Beton Ready Mix K350	m ³	Rp 607,760.00
Bahan dan Material Alam			
1	Pasir Cor	m ³	Rp 183,426.25
2	Sirtu	m ³	Rp 166,120.50
3	Batu Pecah 1 - 2 cm	m ³	Rp 215,963.66
4	Kawat Ikut Beton	kg	Rp 16,857.21
5	Besi tulangan D29	kg	Rp 12,840.00
6	Besi tulangan D22	kg	Rp 12,840.00
7	Besi Tulangan D19	kg	Rp 12,840.00
8	Besi Tulangan D16	kg	Rp 12,840.00
9	Papan Plywood 12 mm	lembar	Rp 219,849.05
10	Papan Kayu Bekisting	m ³	Rp 138,320.00
11	Paku	kg	Rp 16,309.37
12	Wooden Plank kelas 1	m ³	Rp 5,521,200.00
13	Plat Baja	kg	Rp 10,986.40
Profil Baja			
1	Steel pile D= 700 mm t= 14 mm	m'	Rp 12,000,000.00
2	Pelat Transisional 2 cm	m ³	Rp 2,000,000.00
3	Profil Hollow 273	m'	Rp 3,929,437.60
4	Profil Hollow 88,9	m'	Rp 2,303,400.00
5	Pelat Grating 38 cm	m ³	Rp 3,600,000.00
Aksesoris Dermaga			
1	Fender SCN 800 E 2.3	unit	Rp 1,350,000,000.00
2	Bollard QRH	unit	Rp 1,500,000,000.00
3	Marine Loading Arm BO300 ø10"	unit	Rp 1,170,000,000.00
4	Tower Gangway LX04	unit	Rp 450,000,000.00
5	Fire Monitor Tower	unit	Rp 525,000,000.00
6	Jib Crane HNKS	unit	Rp 450,000,000.00
7	Pipa Gas API 5L ø10"	m'	Rp 187,200,000.00
8	Pipa Air API ø6"	m'	Rp 27,000,000.00
Lain - Lain			
1	Oil	liter	Rp 28,165.60
2	Solar	liter	Rp 8,216.00
3	Percobaan pembebanan tiang pancang	unit	Rp 9,200,000.00
4	Tes beton di laboratorium	unit	Rp 1,360,000.00
5	Pile loading trials	unit	Rp 9,600,000.00
9	Welding	cm	Rp 4,800.00
10	Grease	liter	Rp 59,920.00
11	Lubricant	liter	Rp 59,920.00
14	Profil C 75 x 45 x 2.3	kg	Rp 10,986.76
15	Pelat cincin baja	kg	Rp 10,986.76
16	Kawat las	kg	Rp 21,400.00
17	Genset 1.5 kVa	unit	Rp 4,622,400.00

Tabel 7. 3 Harga Sewa Alat

No.	Jenis Peralatan	Satuan	Harga Satuan
1	Kapal Ponton	hari	Rp 4,708,000.00
2	Crane	hari	Rp 5,174,691.20
3	Concrete Mixer	hari	Rp 1,373,880.00
4	Concrete Pump	hari	Rp 192,336.00
5	Concrete Vibrator	hari	Rp 1,373,880.00
6	Mesin las	hari	Rp 1,551,500.00
7	Generator	hari	Rp 1,091,400.00
8	Tug boat	hari	Rp 3,528,089.60
9	Perahu motor	hari	Rp 145,520.00
10	Dump Truck	hari	Rp 128,400.00
11	Excavator	hari	Rp 299,600.00
12	Diesel Hammer	hari	Rp 1,694,880.00
13	Alat Bantu Pemotong Tiang	Ls	Rp 24,049.60

7.5 Analisis Harga Satuan

Rincian untuk analisis harga satuan pada perencanaan dermaga TPPI adalah sebagai berikut lihat (tabel 7.4)

Tabel 7. 4 Analisis Harga Satuan

No.	Uraian Pekerjaan	Koefisien	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Pembersihan Lokasi Pekerjaan dengan Alat Berat				
	Bahan :				
	Oli	1.2	Ltr	Rp 28,165.60	Rp 33,798.72
	Solar	200	Ltr	Rp 8,216.00	Rp 1,643,200.00
	Alat :				
	Dump Truck 3.5 ton	5	Jam	Rp 128,400.00	Rp 642,000.00
	Excavator	5	Jam	Rp 299,600.00	Rp 1,498,000.00
	Upah :				
	Operator	1	org/hari	Rp 76,154.04	Rp 76,154.04
	Mandor	2	org/hari	Rp 99,190.71	Rp 198,381.42
	Pembantu Operator	1	org/hari	Rp 45,796.00	Rp 45,796.00
	Biaya Pembersihan				Rp 4,137,330.18
2	Pelaporan dan Dokumentasi				
	Bahan :				
	Album foto	3	eksemplar	Rp 160,500.00	Rp 481,500.00
	As Built Drawing	1	eksemplar	Rp 428,000.00	Rp 428,000.00
	Laporan Bulanan	3	eksemplar	Rp 214,000.00	Rp 642,000.00
	Laporan Harian	30	eksemplar	Rp 53,500.00	Rp 1,605,000.00
	Laporan Mingguan	3	eksemplar	Rp 128,400.00	Rp 385,200.00
	Akt Tulis Kantor	1	bulan	Rp 535,000.00	Rp 535,000.00
	Biaya Komunikasi / Dokumentasi	1	bulan	Rp 695,500.00	Rp 695,500.00
	Upah :				
	Sekretaris	1	org/hari	Rp 1,284,000.00	Rp 1,284,000.00
	Biaya Pelaporan dan Dokumentasi/bulan				Rp 6,056,200.00
	Biaya Pelaporan dan Dokumentasi/hari				Rp 201,873.33

Tabel 7.4 Lanjutan

3	Keamanan				
Bahan :					
Genaset 1,5 kVa	0.0056	Unit	Rp	4,622,400.00	Rp 25,885.44
Perlengkapan keamanan	0.0056	LS	Rp	2,675,000.00	Rp 14,980.00
Upah :					
Satpam	2.4	org/hari	Rp	45,796.00	Rp 109,910.40
Biaya Keamanan					Rp 150,775.84
Mobilisasi dan Demobilisasi					
Alat :					
Ponton Pancang	23	hari	Rp	4,708,000.00	Rp 108,284,000.00
Tug Boat	23	hari	Rp	3,528,089.60	Rp 81,146,060.80
Biaya Mobilisasi dan Demobilisasi					Rp 189,430,060.80
4	1 m3 beton K-350				
Bahan :					
Beton ready mix K-350	1	m3	Rp	607,760.00	Rp 607,760.00
Alat :					
Concrete pump	0.33	hari	Rp	192,336.00	Rp 64,112.00
Vibrator	0.67	hari	Rp	1,373,880.00	Rp 915,920.00
Upah :					
Mandor	0.07	org/hari	Rp	99,190.71	Rp 6,612.71
Kepala tukang	0.11	org/hari	Rp	87,677.51	Rp 9,741.95
Tukang	0.33	org/hari	Rp	76,143.77	Rp 25,381.26
Pembantu Tukang	0.67	org/hari	Rp	45,796.00	Rp 30,530.67
Biaya 1 m3 beton					Rp 1,660,058.58
5	10 m2 Bekisting				
Bahan :					
Kayu bekisting	0.4	m2	Rp	138,320.00	Rp 55,328.00
Paku	4	kg	Rp	16,309.37	Rp 65,237.47
Upah :					
Mandor	0.10	org/hari	Rp	99,190.71	Rp 9,919.07
Kepala tukang	0.50	org/hari	Rp	87,677.51	Rp 43,838.76
Tukang	2.00	org/hari	Rp	76,143.77	Rp 152,287.54
Pembantu Tukang	5.00	org/hari	Rp	45,796.00	Rp 228,980.00
Biaya 10 m2 bekisting					Rp 555,590.84
Biaya 1 m2 bekisting					Rp 55,559.08
6	1 kg Pembesian Tulangan D29				
Bahan :					
Besi tulangan	1.05	kg	Rp	12,840.00	Rp 13,482.00
Kawat bendrat	0.015	kg	Rp	16,857.21	Rp 252.86
Upah :					
Kepala tukang	0.001	org/hari	Rp	59,920.00	Rp 59.92
Tukang	0.010	org/hari	Rp	87,677.51	Rp 859.24
Pembantu Tukang	0.010	org/hari	Rp	76,143.77	Rp 746.21
Biaya 1 kg pembesian					Rp 15,400.23
7	1 kg Pembesian Tulangan D22				
Bahan :					
Besi tulangan	1.05	kg	Rp	12,840.00	Rp 13,482.00
Kawat bendrat	0.015	kg	Rp	16,857.21	Rp 252.86
Upah :					
Kepala tukang	0.001	org/hari	Rp	59,920.00	Rp 59.92
Tukang	0.010	org/hari	Rp	87,677.51	Rp 859.24
Pembantu Tukang	0.010	org/hari	Rp	76,143.77	Rp 746.21
Biaya 1 kg pembesian					Rp 15,400.23

Tabel 7.4 Lanjutan

8	1 kg Penbesian Tulangan D19				
Bahan :					
Besi tulangan	1.05	kg	Rp	12,840.00	Rp 13,482.00
Kawat bendrat	0.015	kg	Rp	16,857.21	Rp 252.86
Upah :					
Kepala tukang	0.001	org/hari	Rp	87,677.51	Rp 59.92
Tukang	0.010	org/hari	Rp	76,143.77	Rp 859.24
Pembantu Tukang	0.010	org/hari	Rp	45,796.00	Rp 746.21
Biaya 1 kg penbesian					Rp 15,400.23
9	1 kg Penbesian Tulangan D16				
Bahan :					
Besi tulangan	1.05	kg	Rp	12,840.00	Rp 13,482.00
Kawat bendrat	0.015	kg	Rp	16,857.21	Rp 252.86
Upah :					
Kepala tukang	0.001	org/hari	Rp	59,920.00	Rp 59.92
Tukang	0.010	org/hari	Rp	87,677.51	Rp 859.24
Pembantu Tukang	0.010	org/hari	Rp	76,143.77	Rp 746.21
Biaya 1 kg penbesian					Rp 15,400.23
10	Perancah				
Bahan :					
Profil C 75 x 45 x 2.3	5.92	kg	Rp	10,986.76	Rp 65,041.62
Pelat cincin baja	39.92	kg	Rp	10,986.76	Rp 438,591.46
Kawat Las	0.25	kg	Rp	21,400.00	Rp 5,350.00
Alat :					
Mesin las	0.17	hari	Rp	1,551,500.00	Rp 258,583.33
Generator	0.17	hari	Rp	1,091,400.00	Rp 181,900.00
Upah :					
Mandor	0.01	org/hari	Rp	99,190.71	Rp 991.91
Tukang Las	2.00	org/hari	Rp	76,154.04	Rp 152,308.08
Tukang	0.50	org/hari	Rp	87,677.51	Rp 43,838.76
Biaya perancah					Rp 1,146,605.15
11	Penggangkatan Tiang Pancang				
Alat :					
Crane	0.008	hari	Rp	5,174,691.20	Rp 41,397.53
Kapal Ponton	0.008	hari	Rp	4,708,000.00	Rp 37,664.00
Tug Boat	0.008	hari	Rp	3,528,089.60	Rp 28,224.72
Upah :					
Mandor	0.03	org/hari	Rp	99,190.71	Rp 3,306.36
Operator	0.50	org/hari	Rp	76,154.04	Rp 38,077.02
Pembantu Operator	1.33	org/hari	Rp	87,677.51	Rp 116,903.35
Biaya Pengangkatan Tiang Pancang					Rp 265,572.97
12	Pemancangan Tiang Tegak (m')				
Alat :					
Crane	0.03	hari	Rp	5,174,691.20	Rp 155,240.74
Kapal Ponton	0.03	hari	Rp	4,708,000.00	Rp 141,240.00
Tug Boat	0.03	hari	Rp	3,528,089.60	Rp 105,842.49
Diesel Hammer	0.03	hari	Rp	1,694,880.00	Rp 50,846.40
Upah :					
Mandor	0.02	org/hari	Rp	99,190.71	Rp 1,836.87
Operator	0.08	org/hari	Rp	76,154.04	Rp 6,092.32
Tukang	0.22	org/hari	Rp	87,677.51	Rp 19,483.89
Juru Ukur	0.33	org/hari	Rp	69,308.61	Rp 23,102.87
Biaya Pemancangan tiang te gak/hari					Rp 503,685.77
13	Pemancangan Tiang Miring (m')				
Alat :					
Crane	0.04	hari	Rp	5,174,691.20	Rp 206,987.65
Kapal Ponton	0.04	hari	Rp	4,708,000.00	Rp 188,320.00
Tug Boat	0.04	hari	Rp	3,528,089.60	Rp 141,123.58
Diesel Hammer	0.04	hari	Rp	1,694,880.00	Rp 67,795.20
Upah :					
Mandor	0.02	org/hari	Rp	99,190.71	Rp 1,836.87
Operator	0.08	org/hari	Rp	76,154.04	Rp 6,092.32
Tukang	0.22	org/hari	Rp	87,677.51	Rp 19,483.89
Juru Ukur	0.33	org/hari	Rp	69,308.61	Rp 23,102.87
Biaya Pemancangan tiang miring/hari					Rp 654,742.38

Tabel 7.4 Lanjutan

14	Penyambungan Tiang Pancang (buah)				
Alat :					
Mesin Las	0.67	hari	Rp	1,551,500.00	Rp 1,034,333.33
Generator	0.33	hari	Rp	1,091,400.00	Rp 363,800.00
Bahan :					
Plat baja	1.00	kg	Rp	10,986.40	Rp 10,986.40
Upah :					
Mandor	0.02	org/hari	Rp	99,190.71	Rp 1,983.81
Tukang Las	0.20	org/hari	Rp	76,154.04	Rp 15,230.81
Tukang	0.20	org/hari	Rp	87,677.51	Rp 17,535.50
Biaya penyambungan tiang pancang				Rp	1,443,869.86
15	Pemotongan Tiang Pancang				
Alat :					
Mesin Las	0.10	hari	Rp	1,551,500.00	Rp 155,150.00
Generator	0.05	hari	Rp	1,091,400.00	Rp 54,570.00
Alat bantu potong tiang	1.00	ks	Rp	24,049.60	Rp 24,049.60
Upah :					
Mandor	0.10	org/hari	Rp	99,190.71	Rp 9,919.07
Tukang Las	0.50	org/hari	Rp	76,154.04	Rp 38,077.02
Tukang	1.00	org/hari	Rp	87,677.51	Rp 87,677.51
Biaya pemotongan tiang pancang				Rp	369,443.20
16	1m3 Beton K350 Pengisi Tiang Pancang				
Alat :					
1m3 beton K-350	1	m3	Rp	1,660,058.58	Rp 1,660,058.58
Pembesian	110	kg	Rp	15,400.23	Rp 1,694,024.93
Perancah	0.33	unit	Rp	1,146,605.15	Rp 382,201.72
Bekisting	1	hari	Rp	55,559.08	Rp 55,559.08
Upah :					
Tukang	1	org/hari	Rp	76,143.77	Rp 76,143.77
Mandor	0.1	org/hari	Rp	99,190.71	Rp 9,919.07
Biaya isian tiang pancang				Rp	3,877,907.16

Tabel 7.4 Lanjutan

Trestle						
1	1m3 Poer Tunggal					
	1m3 beton K-350	1	m2	Rp	1.660.058,58	Rp 1.660.058,58
	Pembesian Tulangan D19	35.8344	kg	Rp	15.400,23	Rp 551.857,88
	Pembesian Tulangan D16	12.7032	kg	Rp	15.400,23	Rp 195.632,16
	Perancah	0.33	unit	Rp	1.146.605,15	Rp 382.201,72
	Bekisting	1	hari	Rp	55.559,08	Rp 55.559,08
	Biaya Poer Tunggal					Rp 2.845.309,43
2	1m3 Balok Melintang 60 x 90					
	1m3 beton K-350	1	m3	Rp	1.660.058,58	Rp 1.660.058,58
	Pembesian Tulangan D19	35.708	kg	Rp	15.400,23	Rp 549.911,29
	Pembesian Tulangan D16	12.7032	kg	Rp	15.400,23	Rp 195.632,16
	Perancah	0.33	unit	Rp	1.146.605,15	Rp 382.201,72
	Bekisting	1	hari	Rp	55.559,08	Rp 55.559,08
	Biaya Balok Melintang					Rp 2.843.362,84
3	1m3 Balok Memanjang 60 x 90					
	1m3 beton K-350	1	m3	Rp	1.660.058,58	Rp 1.660.058,58
	Pembesian Tulangan D19	35.708	kg	Rp	15.400,23	Rp 549.911,29
	Pembesian Tulangan D16	12.7032	kg	Rp	15.400,23	Rp 195.632,16
	Perancah	0.33	unit	Rp	1.146.605,15	Rp 382.201,72
	Bekisting	1	hari	Rp	55.559,08	Rp 55.559,08
	Biaya Balok Memanjang					Rp 2.843.362,84
4	1m3 Pelat (t = 30 cm)					
	1m3 beton K-350	1	m3	Rp	1.660.058,58	Rp 1.660.058,58
	Pembesian Tulangan D16	38.1096	kg	Rp	15.400,23	Rp 586.896,48
	Perancah	0.33	unit	Rp	1.146.605,15	Rp 382.201,72
	Bekisting	1	hari	Rp	55.559,08	Rp 55.559,08
	Biaya 1m3 Pelat					Rp 2.684.715,86
Mooring Dolphin						
1	1m3 Pelat Mooring Dolphin					
	1m3 beton K-350	1	m3	Rp	1.660.058,58	Rp 1.660.058,58
	Pembesian Tulangan D20	72.048	kg	Rp	15.400,23	Rp 1.109.555,53
	Pembesian Tulangan D16	12.7032	kg	Rp	15.400,23	Rp 195.632,16
	Perancah	0.33	unit	Rp	1.146.605,15	Rp 382.201,72
	Bekisting	1	hari	Rp	55.559,08	Rp 55.559,08
	Biaya 1m3 Beton untuk Pelat Mooring Dolphin					Rp 3.403.007,07
Loading Platform						
1	1m3 Poer Tunggal					
	1m3 beton K-350	1	m3	Rp	1.660.058,58	Rp 1.660.058,58
	Pembesian Tulangan D20	83.4872	kg	Rp	15.400,23	Rp 1.285.721,80
	Pembesian Tulangan D16	12.7032	kg	Rp	15.400,23	Rp 195.632,16
	Perancah	0.33	unit	Rp	1.146.605,15	Rp 382.201,72
	Bekisting	1	hari	Rp	55.559,08	Rp 55.559,08
	Biaya Poer Tunggal					Rp 3.579.173,35
2	1m3 Balok Melintang 60 x 90					
	1m3 beton K-350	1	m3	Rp	1.660.058,58	Rp 1.660.058,58
	Pembesian Tulangan D20	125.2308	kg	Rp	15.400,23	Rp 1.928.382,71
	Pembesian Tulangan D16	41.7436	kg	Rp	15.400,23	Rp 642.860,90
	Perancah	0.33	unit	Rp	1.146.605,15	Rp 382.201,72
	Bekisting	1	hari	Rp	55.559,08	Rp 55.559,08
	Biaya Balok Melintang					Rp 4.669.262,99
3	1m3 Balok Memanjang 60 x 90					
	1m3 beton K-350	1	m3	Rp	1.660.058,58	Rp 1.660.058,58
	Pembesian Tulangan D20	125.2308	kg	Rp	15.400,23	Rp 1.928.382,71
	Pembesian Tulangan D16	12.70636	kg	Rp	15.400,23	Rp 195.680,82
	Perancah	0.33	unit	Rp	1.146.605,15	Rp 382.201,72
	Bekisting	1	hari	Rp	55.559,08	Rp 55.559,08
	Biaya Balok Memanjang					Rp 4.222.082,91
4	1m3 Pelat (t = 30 cm)					
	1 m3 beton K-350	1	m3	Rp	1.660.058,58	Rp 1.660.058,58
	Pembesian Tulangan D16	44.4612	kg	Rp	15.400,23	Rp 684.712,56
	Perancah	0.33	unit	Rp	1.146.605,15	Rp 382.201,72
	Bekisting	1	hari	Rp	55.559,08	Rp 55.559,08
	Biaya 1m3 Pelat					Rp 2.782.531,94

Tabel 7.4 Lanjutan

Breasting Dolphin						
1	1m3 Pelat Breasting Dolphin					
	1m3 beton K-350	1	m3	Rp	1,660,058.58	Rp 1,660,058.58
	Pembesian Tulangan D29	145.36	kg	Rp	15,400.23	Rp 2,238,576.95
	Pembesian Tulangan D22	82.16	kg	Rp	15,400.23	Rp 1,265,282.62
	Pembesian Tulangan D16	12.7032	kg	Rp	15,400.23	Rp 195,632.16
	Perancah	0.33	unit	Rp	1,146,605.15	Rp 382,201.72
	Bekisting	1	hari	Rp	55,559.08	Rp 55,559.08
	Biaya 1m3 Beton untuk Pelat Breasting Dolphin				Rp	5,797,311.11
Catwalk						
1	Pemasangan Catwalk 1 m					
	Bahan :					
	Profil Hollow 273	1	m	Rp	3,929,437.60	Rp 3,929,437.60
	Profil Hollow 88.9	1	m	Rp	2,303,400.00	Rp 2,303,400.00
	Pelat Grating 38 cm	1	m²	Rp	3,600,000.00	Rp 3,600,000.00
	Alat :					
	Mesin Las	0.10	hari	Rp	1,551,500.00	Rp 155,150.00
	Generator	0.05	hari	Rp	1,091,400.00	Rp 54,570.00
	Upah :					
	Mandor	0.10	org/hari	Rp	99,190.71	Rp 9,919.07
	Tukang Las	0.50	org/hari	Rp	76,154.04	Rp 38,077.02
	Tukang	1.00	org/hari	Rp	87,677.51	Rp 87,677.51
	Pemasangan Catwalk 1m3				Rp	10,178,231.20

7.6 Analisa Rencana Anggaran Biaya

Rencana anggaran biaya dalam perencanaan terdiri dari beberapa pekerjaan, meliputi:

1. Pekerjaan persiapan
2. Pekerjaan trestle
3. Pekerjaan mooring dolphin
4. Pekerjaan loading platform
5. Pekerjaan breasting dolphin
6. Pekerjaan catwalk

Rincian anggaran biaya pekerjaan disajikan dalam (**Tabel 7.5**) Sedangkan rekapitulasi analisa rencana anggaran biaya untuk masing-masing pekerjaan tersaji dalam (**Tabel 7.6**)

Tabel 7. 5 Analisa Anggaran Biaya

PEKERJAAN PERSIAPAN				
No.	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Jumlah Harga
1	Pelaporan dan dokumentasi	240	Ls/hari	Rp 201.873,33
2	Papan nama proyek	1	Buah	Rp 869.798,00
3	Pembersihan lokasi pekerjaan	14	Ls	Rp 4.137.330,18
4	Pemasangan pagar proyek (150 m')	1	Ls	Rp 28.608.600,00
5	Pengamanan	240	Ls/hari	Rp 150.775,84
6	Pengukuran dan pemasangan titik tetap	1	Ls	Rp 5.000.000,00
7	Pengadaan direktori kit (36 m2)	1	Ls	Rp 25.200.000,00
8	Pengadaan workshop dan gudang	1	Ls	Rp 10.000.000,00
9	Mobilisasi dan demobilisasi	1	Ls	Rp 189.430.060,80
Total				Rp 401.666.882,98

TRESTLE				
No.	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Jumlah Harga
1	Pengangkatan tiang pancang	249,2	m'	Rp 265.572,97
2	Pemancangan tiang pancang tegak	249,2	m'	Rp 503.685,77
3	Penyambungan tiang pancang	14	titik	Rp 1.443.869,86
4	Pemotongan tiang pancang	14	titik	Rp 369.443,20
5	Pengisian Tiang Pancang	21,54	m³	Rp 3.877.907,16
6	Pemasangan poer tunggal	14	titik	Rp 2.845.309,43
7	Pile loading trials	3	titik	Rp 9.600.000,00
8	Tes beton di laboratorium	3	titik	Rp 1.360.000,00
9	Bakok 60 x 90 m'lintang	25,92	m³	Rp 2.843.362,84
10	Bakok 60 x 90 memanjang	18,9	m³	Rp 2.843.362,84
11	Pelat beton (t= 30 cm)	64,8	m³	Rp 2.782.531,94
12	Pemasangan pipa air ø6"	27	m'	Rp 27.000.000,00
13	Pemasangan pipa gas ø10"	27	m'	Rp 187.200.000,00
Total				Rp 6.464.477.706,49

MOORING DOLPHIN				
No.	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Jumlah Harga
1	Pengangkatan tiang pancang	97,6	m'	Rp 265.572,97
2	Pemancangan tiang pancang miring	97,6	m'	Rp 654.742,38
3	Penyambungan tiang pancang	4	titik	Rp 503.685,77
4	Pemotongan tiang pancang	4	titik	Rp 369.443,20
5	Pengisian Tiang Pancang	6,15	m³	Rp 3.877.907,16
6	Pile loading trials	2	titik	Rp 9.600.000,00
7	Tes beton di laboratorium	2	titik	Rp 1.360.000,00
8	Pelat mooring dolphin	7,84	m²	Rp 3.403.007,07
9	Pemasangan bollard ØRH	1	unit	Rp 1.500.000.000,00
Total 1 mooring dolphin				Rp 1.665.763.998,93
Total 4 mooring dolphin				Rp 6.663.055.995,70

LOADING PLATFORM				
No.	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Jumlah Harga
1	Pengangkatan tiang pancang	400	m'	Rp 265.572,97
2	Pemancangan tiang pancang tegak	400	m'	Rp 503.685,77
3	Penyambungan tiang pancang	16	titik	Rp 1.443.869,86
4	Pemotongan tiang pancang	16	titik	Rp 369.443,20
5	Pengisian Tiang Pancang	24,61	m³	Rp 3.877.907,16
6	Pemasangan poer tunggal	16	titik	Rp 3.579.173,35
7	Pile loading trials	3	titik	Rp 9.600.000,00
8	Tes beton di laboratorium	4	titik	Rp 1.360.000,00
9	Bakok 60 x 90 m'lintang	32,4	m³	Rp 4.669.262,99
10	Bakok 60 x 90 memanjang	45,36	m³	Rp 4.222.082,91
11	Pelat beton (t= 30 cm)	129,6	m³	Rp 2.782.531,94
12	Pemasangan Marine Loading Arm	2	unit	Rp 1.170.000.000,00
13	Pemasangan Tower Gangway	1	unit	Rp 450.000.000,00
14	Pemasangan Fire Monitor Tower	1	unit	Rp 525.000.000,00
15	Pemasangan Jib Crane	1	unit	Rp 450.000.000,00
16	Pemasangan pipa air ø6"	35,5	m'	Rp 27.000.000,00
17	Pemasangan pipa minyak ø10"	20	m'	Rp 187.200.000,00
Total				Rp 9.694.572.517,62

Tabel 7.5 Lanjutan

BREASTHING DOLPHIN					
No.	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Pengangkatan tiang pancang	160	m'	Rp 265,572.97	Rp 42,491,675.65
2	Pemancangan tiang pancang miring	160	m'	Rp 654,742.38	Rp 104,758,780.98
3	Pemancangan tiang pancang tegak	20	m'	Rp 503,685.77	Rp 10,073,715.46
4	Penyambungan tiang pancang	8	titik	Rp 1,443,869.86	Rp 11,550,958.86
5	Pemotongan tiang pancang	8	titik	Rp 369,443.20	Rp 2,955,545.63
6	Pengisian Tiang Pancang	12.3	m ³	Rp 3,877,907.16	Rp 47,698,258.03
7	Pile loading trials	2	titik	Rp 9,600,000.00	Rp 19,200,000.00
8	Tes beton di laboratorium	2	titik	Rp 1,360,000.00	Rp 2,720,000.00
9	Pelat breasting dolphin	27.648	m ²	Rp 5,797,311.11	Rp 160,284,057.69
10	Pemasangan fender	1	unit	Rp 1,350,000,000.00	Rp 1,350,000,000.00
Total 1 breasting dolphin					Rp 1,751,732,992.30
Total 2 breasting dolphin					Rp 3,503,465,984.59
CATWALK					
No.	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Pemasangan catwalk	112.5	m'	Rp 10,178,231.20	Rp 1,145,051,010.36
Total					Rp 1,145,051,010.36

Tabel 7. 6 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya

No.	Uraian Pekerjaan	Harga Pekerjaan
1	Pekerjaan Persiapan	Rp 401,666,882.98
3	Pekerjaan Trestle	Rp 6,464,477,706.69
4	Pekerjaan Mooring Dolphin	Rp 6,663,055,995.70
2	Pekerjaan Loading Platform	Rp 9,694,572,517.62
5	Pekerjaan Breasting Dolphin	Rp 3,503,465,984.59
6	Pekerjaan Catwalk	Rp 1,145,051,010.36
Total		Rp 27,872,290,097.94
PPn 10%		Rp 2,787,229,009.79
Jumlah Akhir		Rp 30,659,519,107.73
Jumlah Akhir (dibulatkan)		Rp. 30.659.519.200

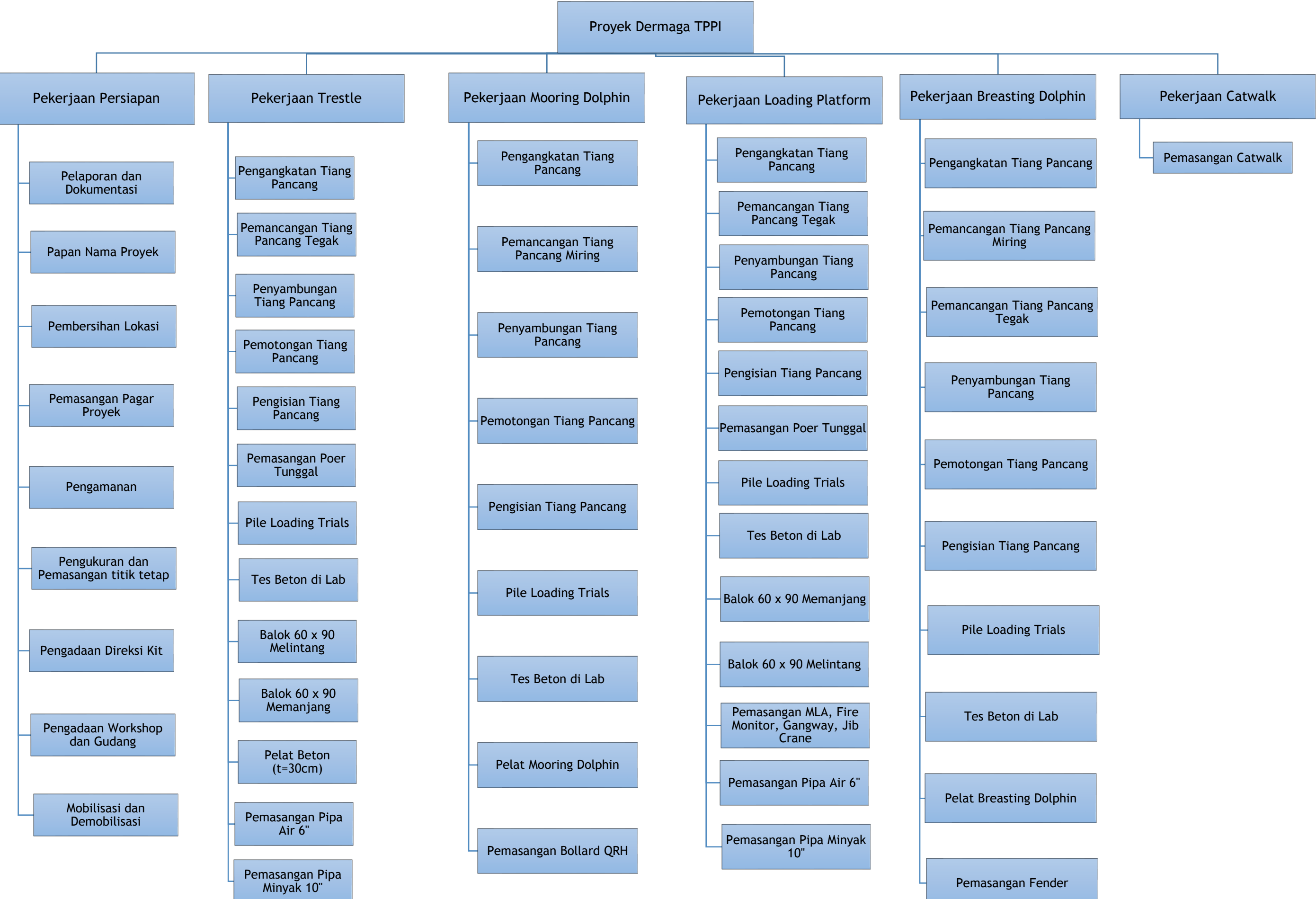
7.7 Kurva Biaya Waktu (*Kurva S*)

Kurva S secara grafis adalah penggambaran kemajuan kerja (bobot%) kumulatif pada sumbu vertikal terhadap waktu pada sumbu horizontal. Bobot kegiatan adalah nilai persentase proyek dimana penggunaannya dipakai untuk mengetahui kemajuan proyek tersebut. Kemajuan kegiatan biasanya diukur terhadap jumlah uang yang telah dikeluarkan oleh proyek. Pembandingan kurva S rencana dengan kurva pelaksanaan memungkinkan dapat diketahuinya kemajuan pelaksanaan proyek apakah sesuai, lambat, ataupun lebih dari yang direncanakan.

(Data hasil Kurva S terlampir)

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

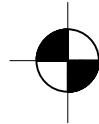
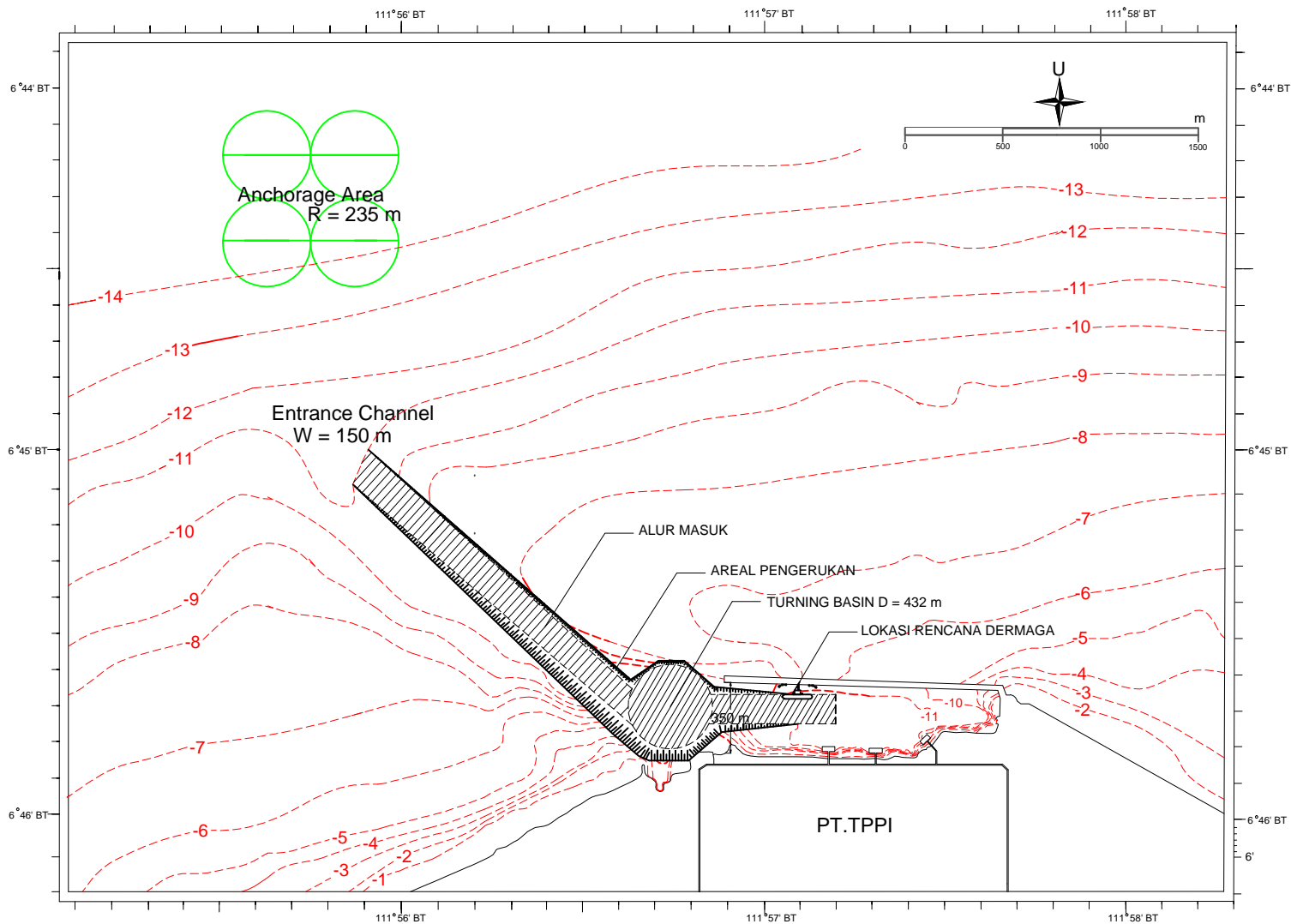
LAMPIRAN 1



[illegible]

DAFTAR GAMBAR:

1. LAYOUT PERAIRAN DERMAGA TPPI TUBAN
2. DENAH DERMAGA TPPI TUBAN
3. DENAH LOADING PLATFORM
4. DENAH TRESTLE
5. DETAIL TIPE PELAT LOADING PLATFORM
6. DETAIL TIPE PELAT TRESTLE
7. DENAH PENULANGAN PELAT LOADING PLATFORM
8. DENAH PENULANGAN PELAT TRESTLE
9. LAYOUT PEMBALOKAN
10. DETAIL PENULANGAN BALOK MELINTANG LOADING PLATFORM
11. DETAIL PENULANGAN BALOK MEMANJANG LOADING PLATFORM
12. DETAIL PENULANGAN BALOK MELINTANG TRESTLE
13. DETAIL PENULANGAN BALOK MEMANJANG TRESTLE
14. DETAIL PENULANGAN POER
15. MOORING DOLPHIN
16. DETAIL PENULANGAN MOORING DOLPHIN
17. BREASTING DOLPHIN
18. DETAIL PENULANGAN BREASTING DOLPHIN
19. TAMPAK DEPAN BREASTING DOLPHIN
20. TAMPAK BELAKANG BREASTING DOLPHIN
21. STRUKTUR CATWALK 1
22. STRUKTUR CATWALK 2



LAYOUT PERAIRAN DERMAGA TPPI TUBAN

Skala 1:25.000



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2016

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriyani W., M.Sc.
Prof. Dr. Ir. Herman W.

MAHASISWA

SATYA WIRA W
(3111 100 131)

NAMA GAMBAR

LAYOUT PERAIRAN
DERMAGA TPPI

NO. GAMBAR

1

22

SKALA

1 : 25.000

CATATAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2016

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriyani W., M.Sc.
Prof. Dr. Ir. Herman W.

MAHASISWA

SATYA WIRA W
(3111 100 131)

NAMA GAMBAR

DENAH DERMAGA

NO. GAMBAR

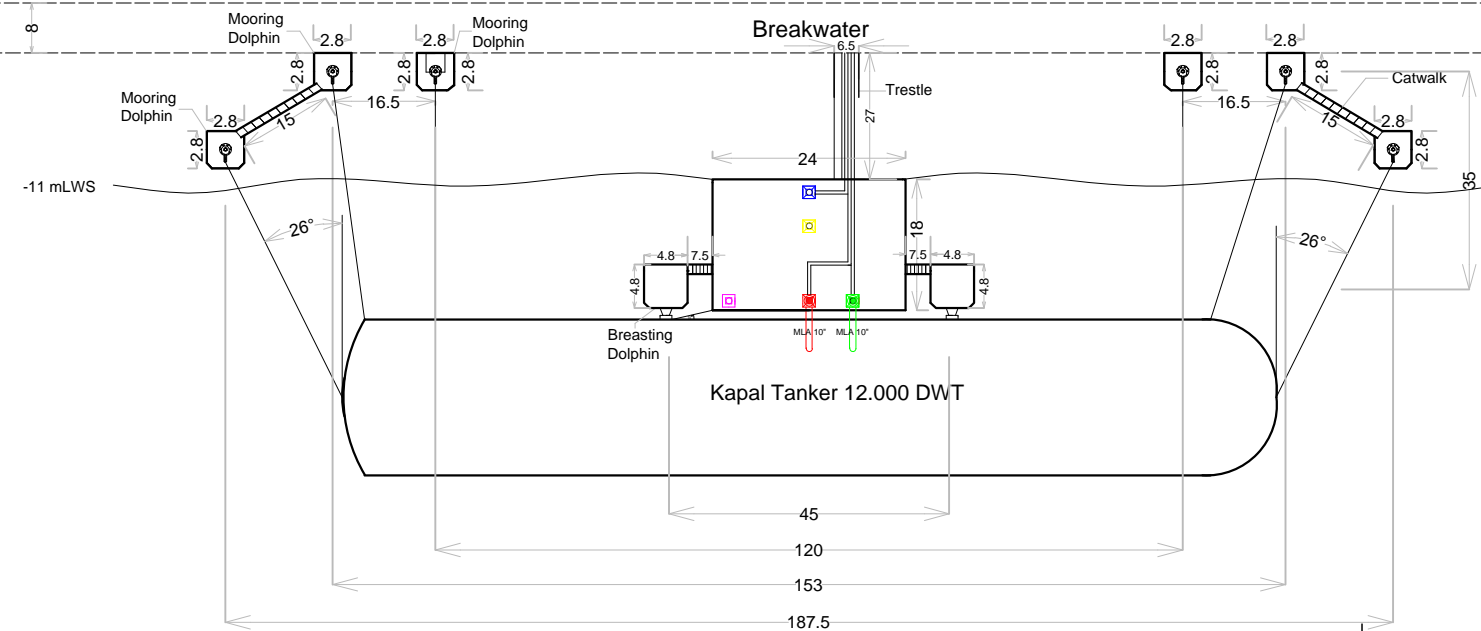
2

22

SKALA

1:100

CATATAN



Keterangan :



: Struktur Breakwater



: Marine Loading Arm 1



: Marine Loading Arm 2



: Fire Monitor Tower



: Jib Crane



: Tower Gangway



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2016

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriyani W., M.Sc.
Prof. Dr. Ir. Herman W.

MAHASISWA

SATYA WIRA W
(3111 100 131)

NAMA GAMBAR

DENAH LOADING PLATFORM

NO. GAMBAR

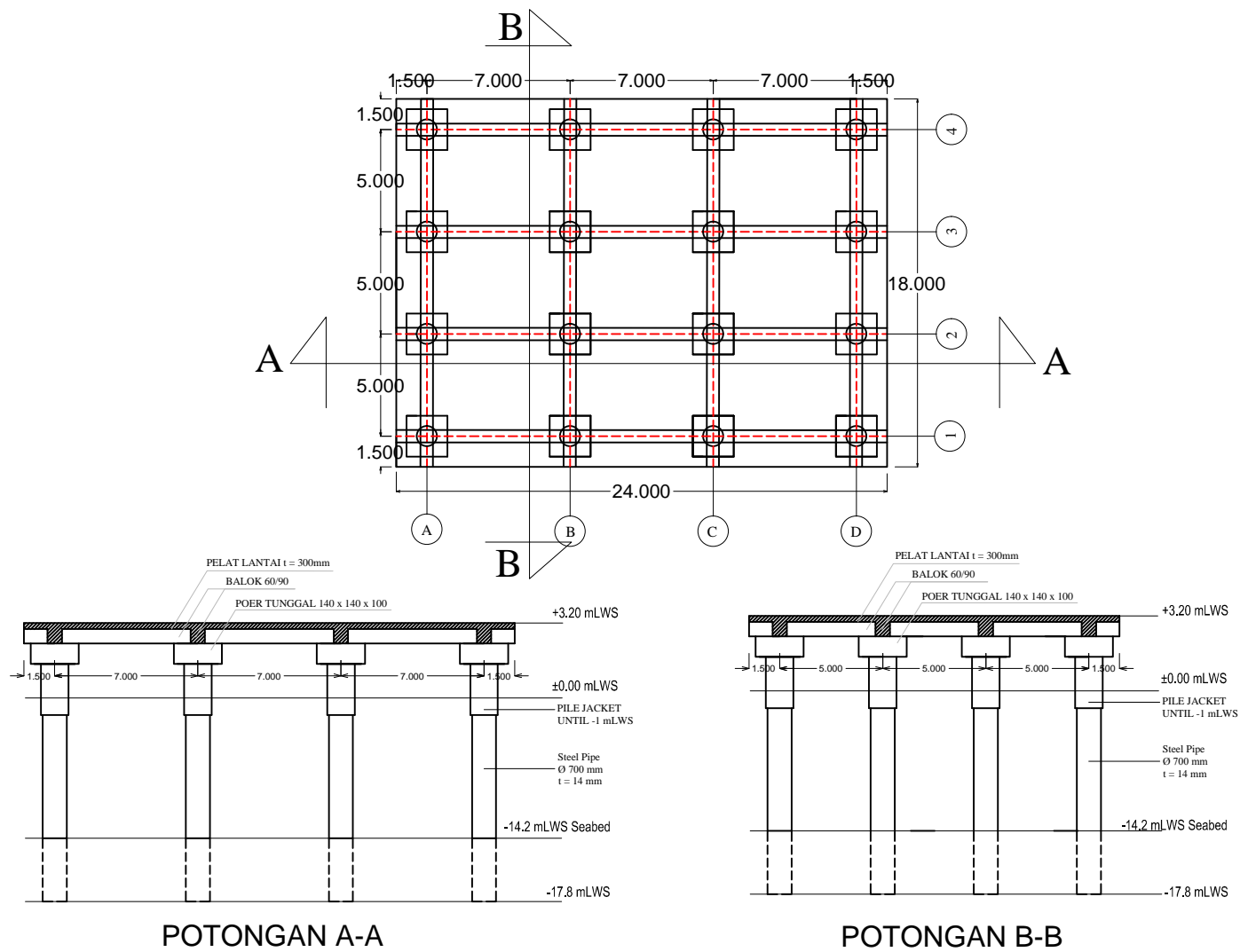
3

22

SKALA

1 : 100

CATATAN



DENAH LOADING PLATFORM

Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2016

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriyani W., M.Sc.
Prof. Dr. Ir. Herman W.

MAHASISWA

SATYA WIRA W
(3111 100 131)

NAMA GAMBAR

DENAH TRESTLE

NO. GAMBAR

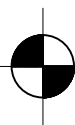
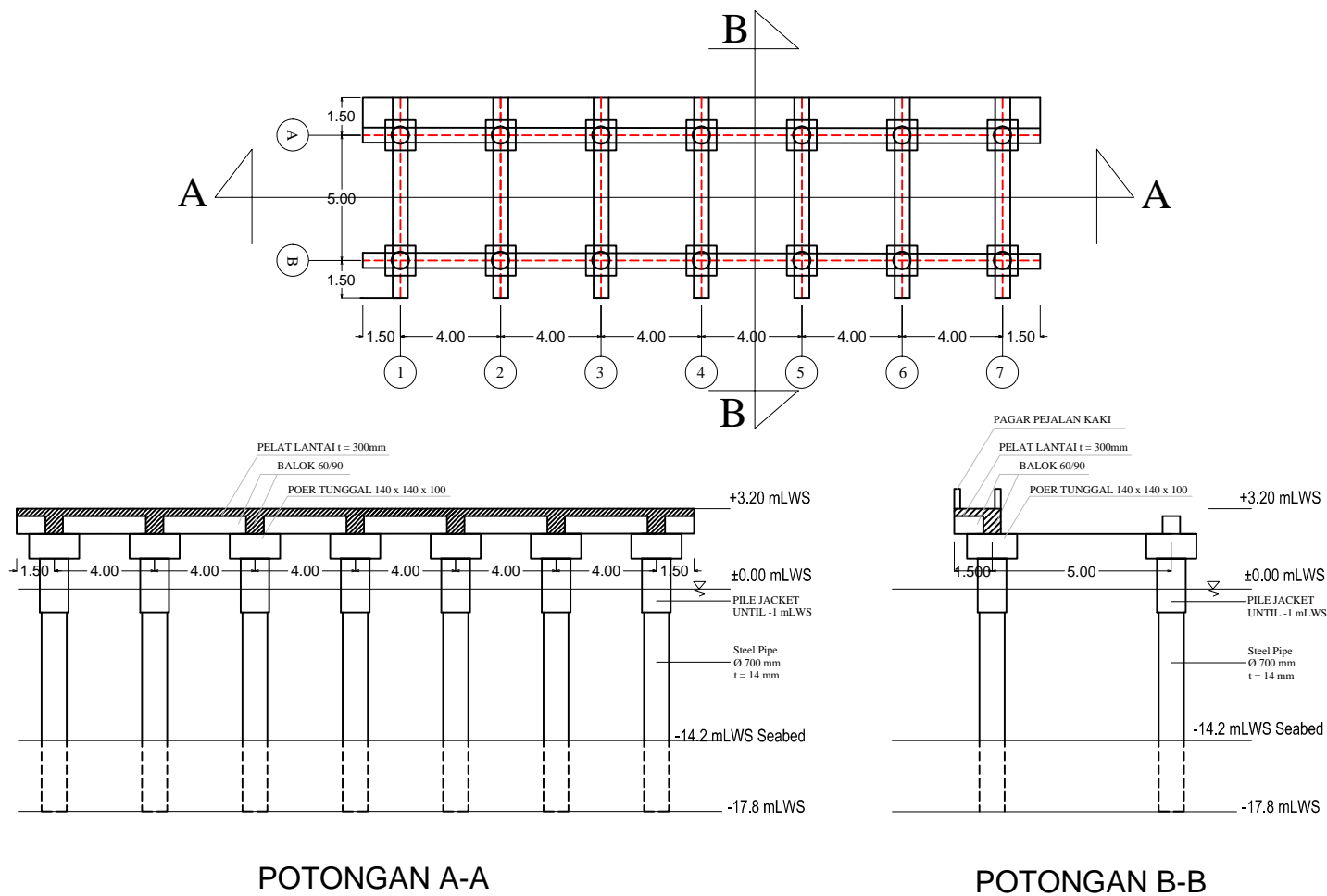
4

22

SKALA

1 : 100

CATATAN



DENAH TRESTLE
Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2016

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriyani W., M.Sc.
Prof. Dr. Ir. Herman W.

MAHASISWA

SATYA WIRA W
(3111 100 131)

NAMA GAMBAR

DETAIL PELAT
LOADING
PLATFORM

NO. GAMBAR

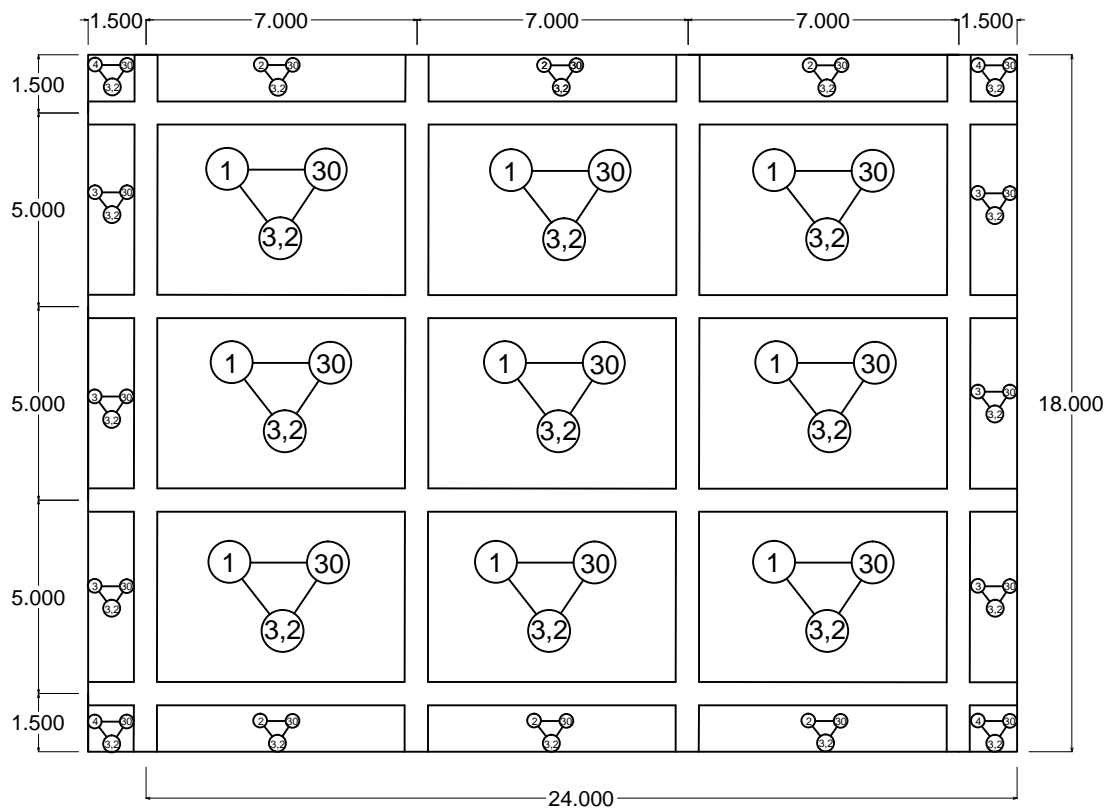
5

22

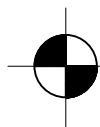
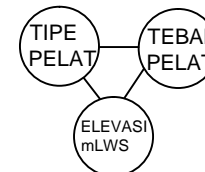
SKALA

1 : 100

CATATAN



KETERANGAN :



DETAIL TIPE PELAT LOADING PLATFORM

Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2016

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriyani W., M.Sc.
Prof. Dr. Ir. Herman W.

MAHASISWA

SATYA WIRA W
(3111 100 131)

NAMA GAMBAR

DETAIL PELAT
TRESTLE

NO. GAMBAR

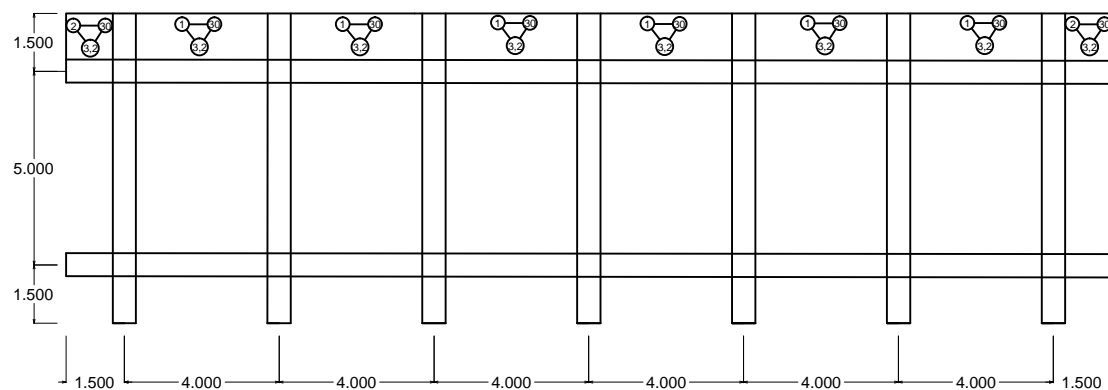
6

22

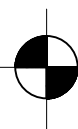
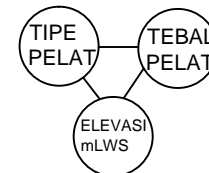
SKALA

1 : 100

CATATAN



KETERANGAN :



DETAIL TIPE PELAT TRESTLE

Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2016

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriyani W., M.Sc.
Prof. Dr. Ir. Herman W.

MAHASISWA

SATYA WIRA W
(3111 100 131)

NAMA GAMBAR

PELAT TRESTLE

NO. GAMBAR

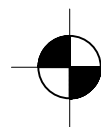
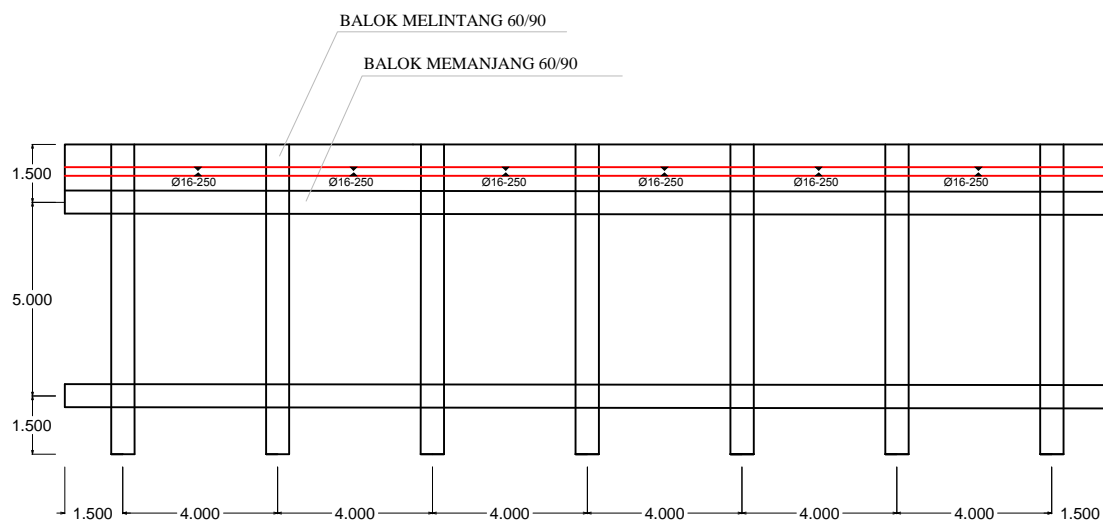
8

22

SKALA

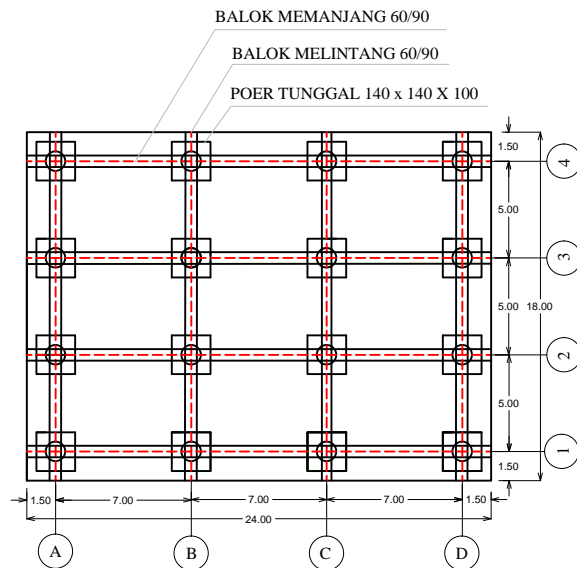
1 : 100

CATATAN

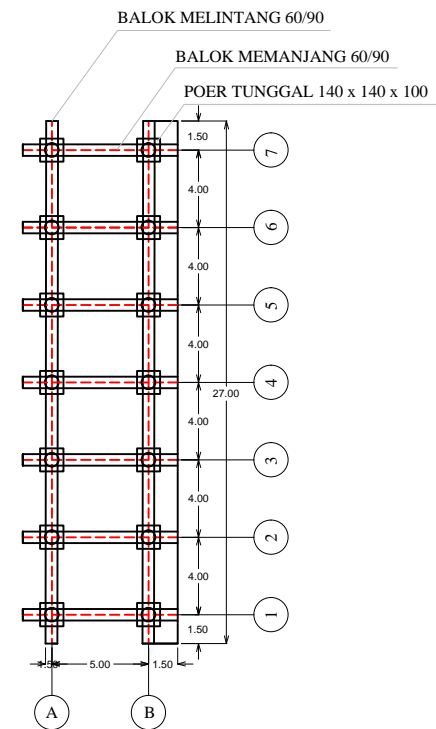


DENAH PENULANGAN PELAT TRESTLE

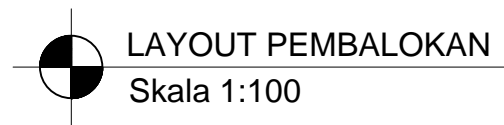
Skala 1:100



PEMBALOKAN LOADING PLATROM



PEMBALOKAN TRESTLE



LAYOUT PEMBALOKAN
Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2016

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriyani W., M.Sc.
Prof. Dr. Ir. Herman W.

MAHASISWA

SATYA WIRA W
(3111 100 131)

NAMA GAMBAR

LAYOUT
PEMBALOKAN

NO. GAMBAR

9

22

SKALA

1 : 100

CATATAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2016

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriyani W., M.Sc.
Prof. Dr. Ir. Herman W.

MAHASISWA

SATYA WIRA W
(3111 100 131)

NAMA GAMBAR

BALOK MELINTANG
LOADING PLATFORM

NO. GAMBAR

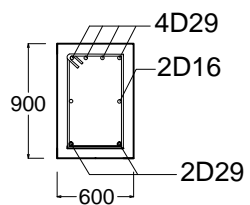
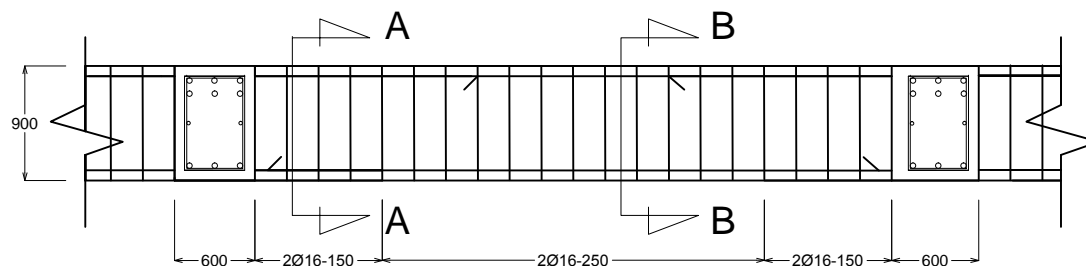
10

22

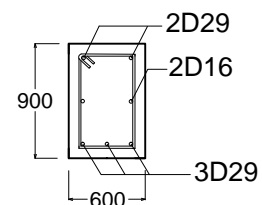
SKALA

1 : 100

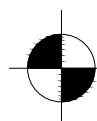
CATATAN



Potongan A-A
Skala 1:25



Potongan B-B
Skala 1:25



DETAIL PENULANGAN BALOK MELINTANG LOADING PLATFORM
SKALA 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2016

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriyani W., M.Sc.
Prof. Dr. Ir. Herman W.

MAHASISWA

SATYA WIRA W
(3111 100 131)

NAMA GAMBAR

BALOK MELINTANG
TRESTLE

NO. GAMBAR

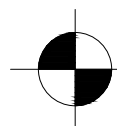
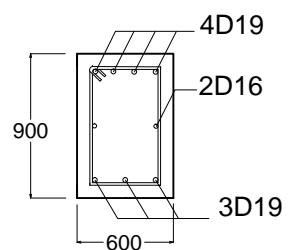
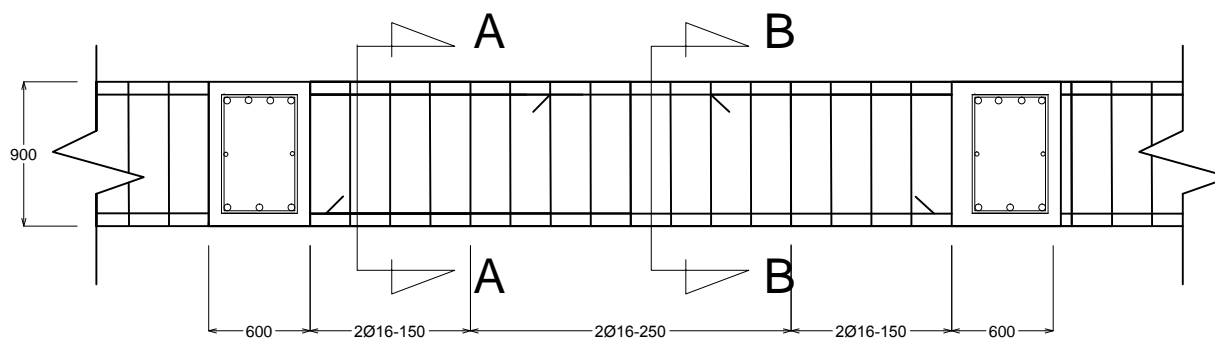
12

22

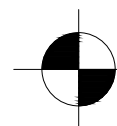
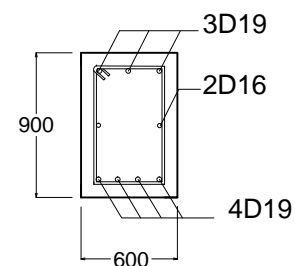
SKALA

1 : 100

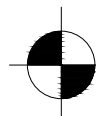
CATATAN



Potongan A-A
Skala 1:25



Potongan B-B
Skala 1:25



DETAIL PENULANGAN BALOK MELINTANG TRESTLE
SKALA 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2016

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriyani W., M.Sc.
Prof. Dr. Ir. Herman W.

MAHASISWA

SATYA WIRA W
(3111 100 131)

NAMA GAMBAR

BALOK MEMANJANG
LOADING PLATFROM

NO. GAMBAR

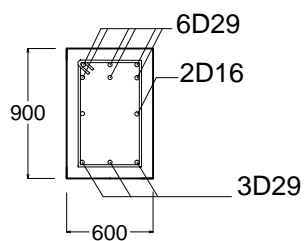
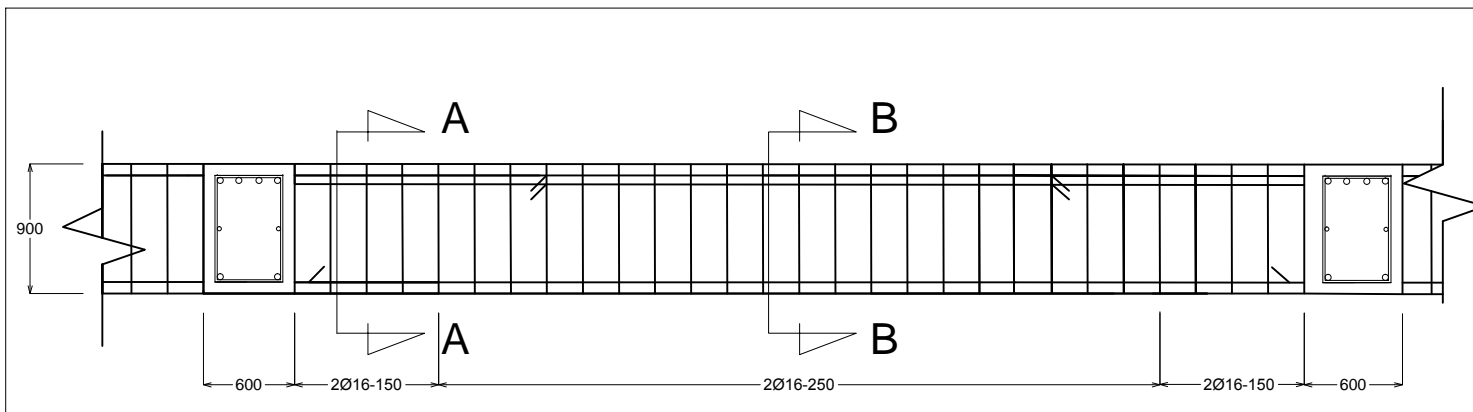
11

22

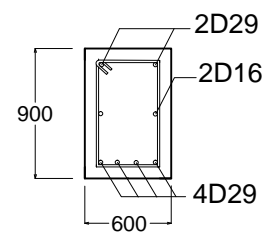
SKALA

1 : 100

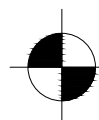
CATATAN



Potongan A-A
Skala 1:25



Potongan B-B
Skala 1:25



DETAIL PENULANGAN BALOK MEMANJANG LOADING PLATFORM

SKALA 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2016

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriyani W., M.Sc.
Prof. Dr. Ir. Herman W.

MAHASISWA

SATYA WIRA W
(3111 100 131)

NAMA GAMBAR

BALOK MEMANJANG
TRESTLE

NO. GAMBAR

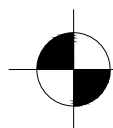
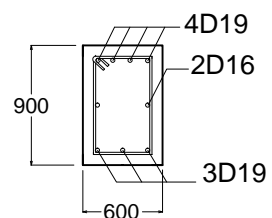
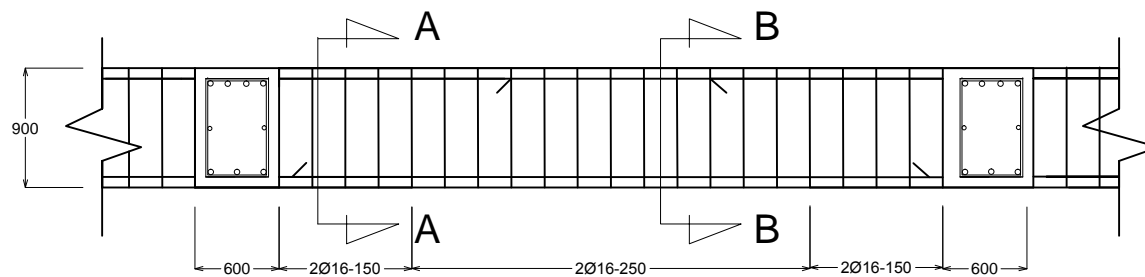
13

22

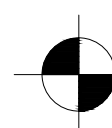
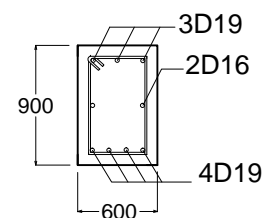
SKALA

1 : 100

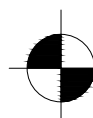
CATATAN



Potongan A-A
Skala 1:25

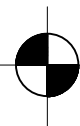
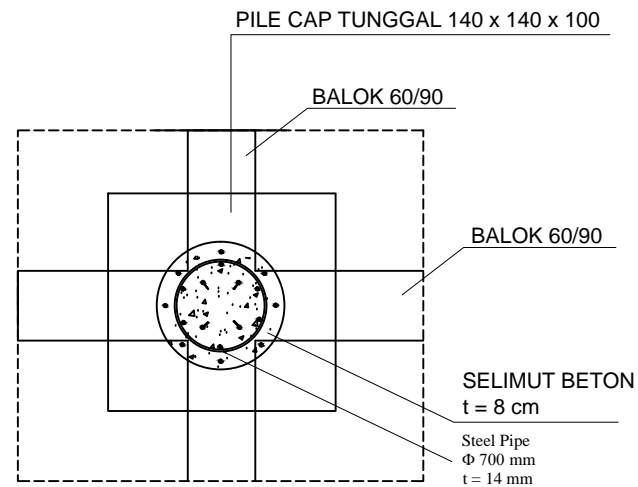
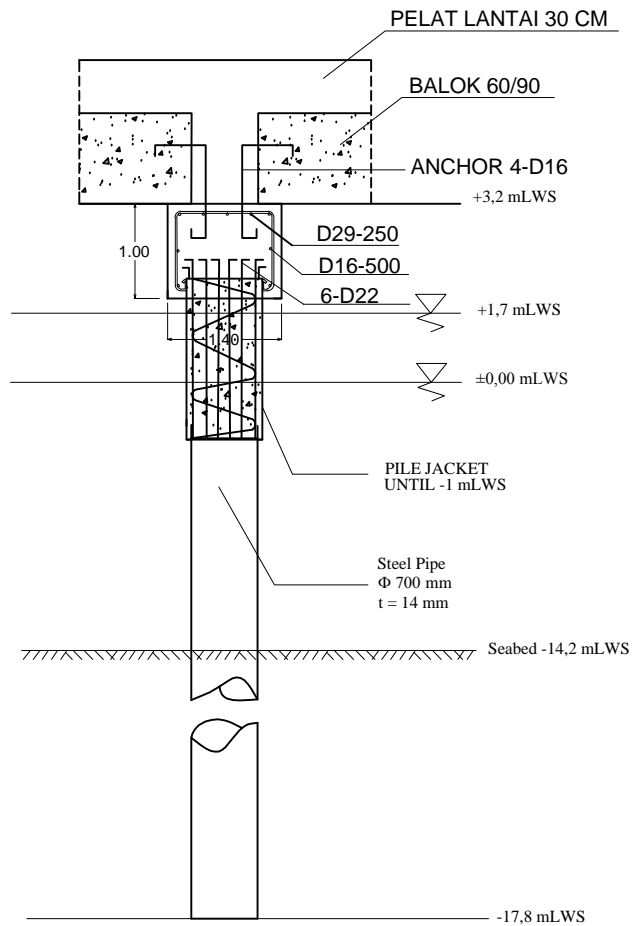


Potongan B-B
Skala 1:25



DETAIL PENULANGAN BALOK MEMANJANG TRESTLE

SKALA 1:100



DETAIL PENULANGAN POER
Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2016

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriyani W., M.Sc.
Prof. Dr. Ir. Herman W.

MAHASISWA

SATYA WIRA W
(3111 100 131)

NAMA GAMBAR

DETAIL
PENULANGAN POER

NO. GAMBAR

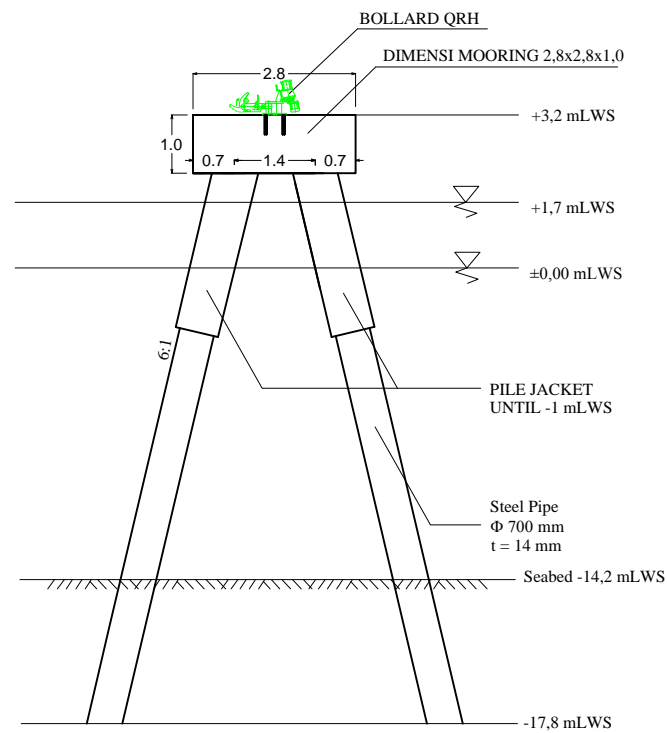
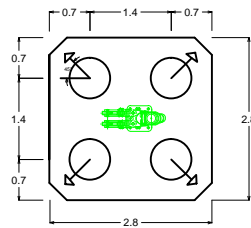
14


22

SKALA

1 : 100

CATATAN




MOORING DOLPHIN
 Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2016

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriyani W., M.Sc.
Prof. Dr. Ir. Herman W.

MAHASISWA

SATYA WIRA W
(3111 100 131)

NAMA GAMBAR

MOORING
DOLPHIN

NO. GAMBAR

15

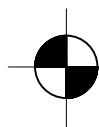
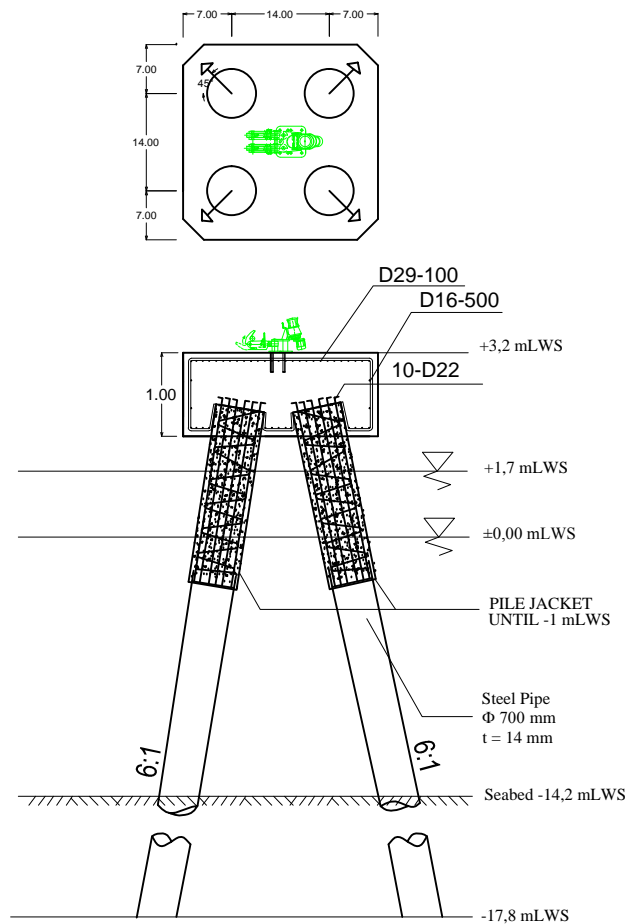
22

SKALA

1 : 100

CATATAN

Ukuran dalam
mili meter



DETAIL PENULANGAN MOORING DOLPHIN
Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2016

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriyani W., M.Sc.
Prof. Dr. Ir. Herman W.

MAHASISWA

SATYA WIRA W
(3111 100 131)

NAMA GAMBAR

DETAIL
PENULANGAN
MOORING

NO. GAMBAR

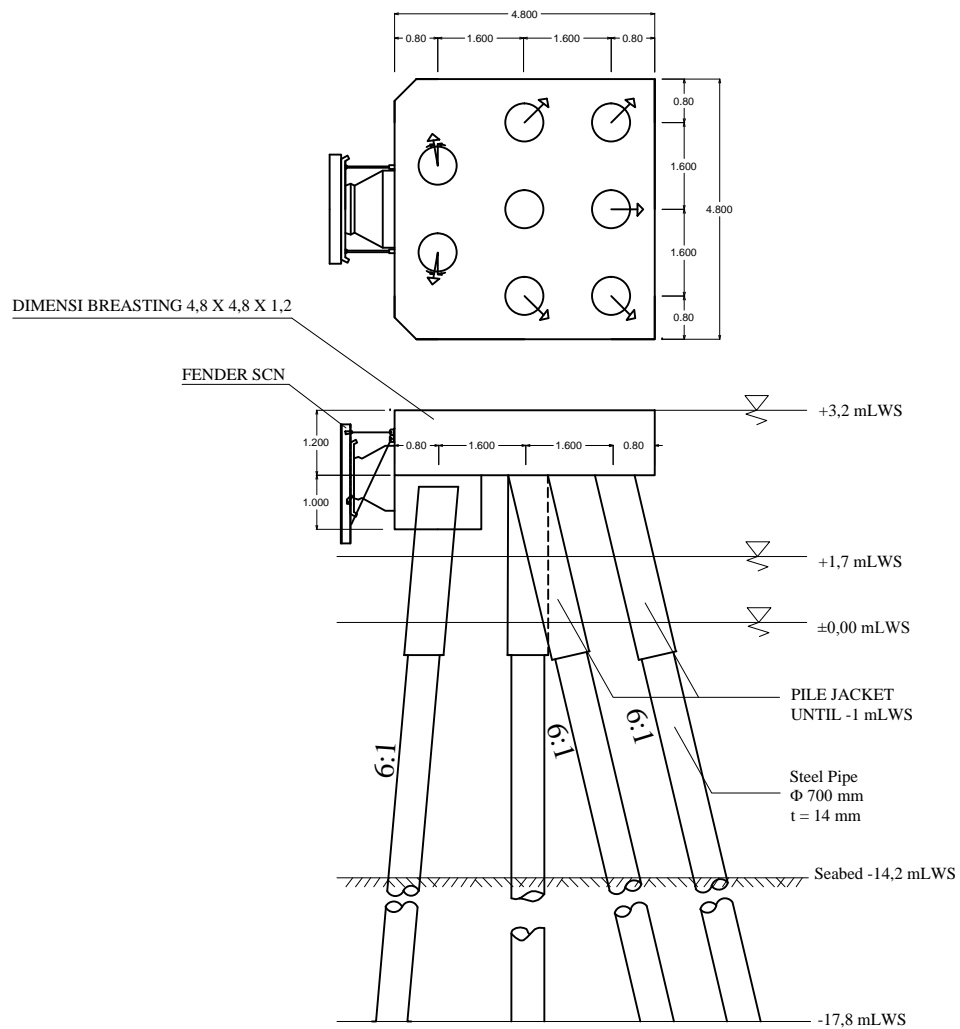
16


22

SKALA

1 : 100

CATATAN



 **BREASTING DOLPHIN**
Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2016

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriyani W., M.Sc.
Prof. Dr. Ir. Herman W.

MAHASISWA

SATYA WIRA W
(3111 100 131)

NAMA GAMBAR

BREASTING
DOLPHIN

NO. GAMBAR

17

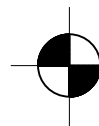
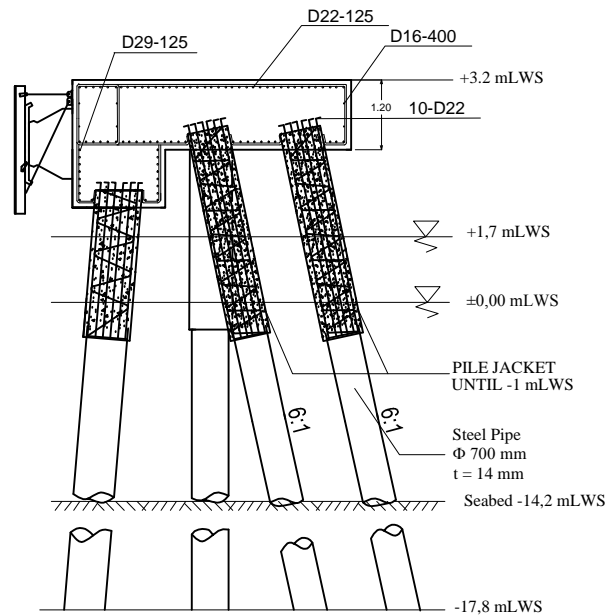
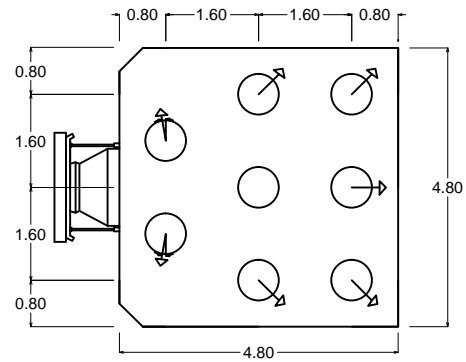
22

SKALA

1 : 100

CATATAN

Ukuran dalam
mili meter



DETAIL PENULANGAN BREASTING DOLPHIN
Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2016

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriyani W., M.Sc.
Prof. Dr. Ir. Herman W.

MAHASISWA

SATYA WIRA W
(3111 100 131)

NAMA GAMBAR

DETAIL
PENULANGAN
BREASTING

NO. GAMBAR

18

22

SKALA

1 : 100

CATATAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2016

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriyani W., M.Sc.
Prof. Dr. Ir. Herman W.

MAHASISWA

SATYA WIRA W
(3111 100 131)

NAMA GAMBAR

TAMPAK DEPAN
BREASTING DOLPHIN

NO. GAMBAR

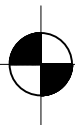
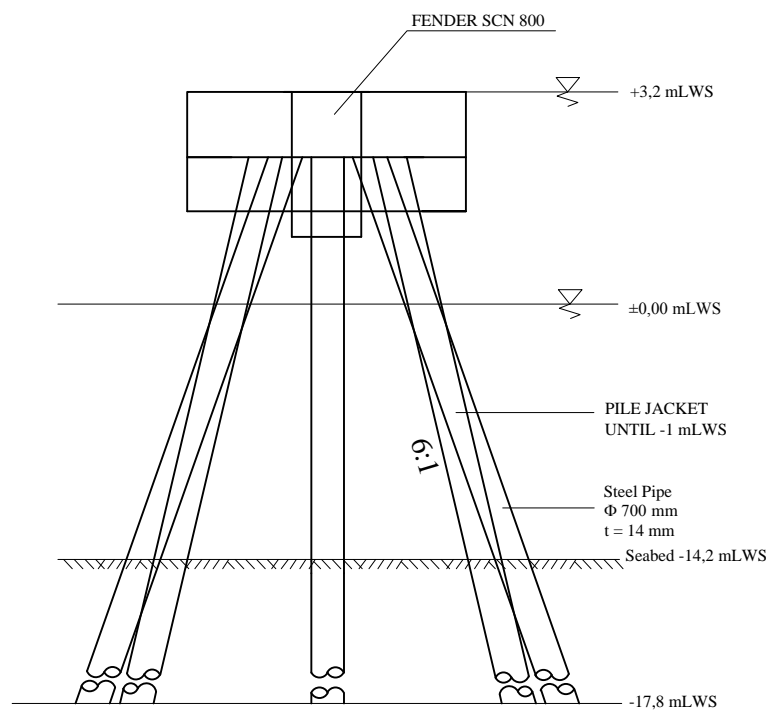
19

22

SKALA

1 : 100

CATATAN



TAMPAK DEPAN BREASTING DOLPHIN
Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2016

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriyani W., M.Sc.
Prof. Dr. Ir. Herman W.

MAHASISWA

SATYA WIRA W
(3111 100 131)

NAMA GAMBAR

TAMPAK BELAKANG
BREASTING DOLPHIN

NO. GAMBAR

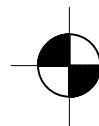
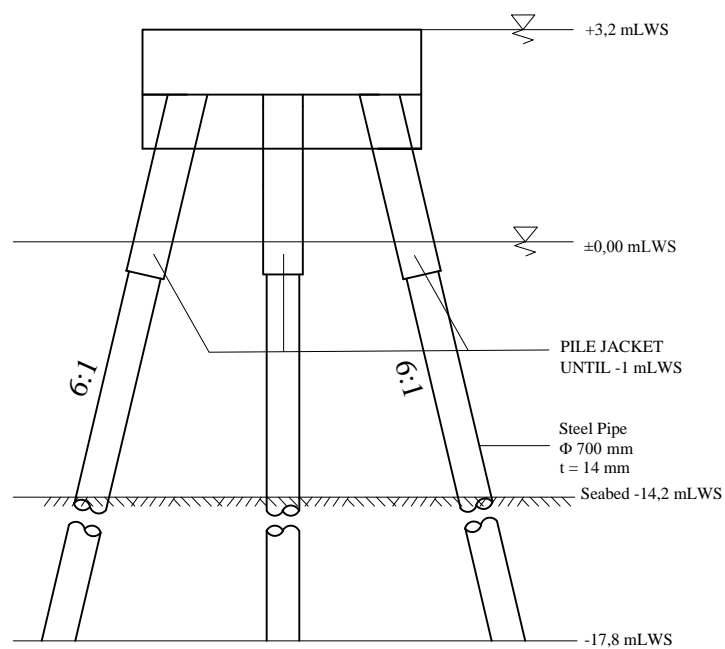
20

22

SKALA

1 : 100

CATATAN



TAMPAK BELAKANG BREASTING DOLPHIN
Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2016

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriyani W., M.Sc.
Prof. Dr. Ir. Herman W.

MAHASISWA

SATYA WIRA W
(3111 100 131)

NAMA GAMBAR

STRUKTUR CATWALK 1

NO. GAMBAR

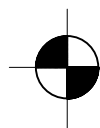
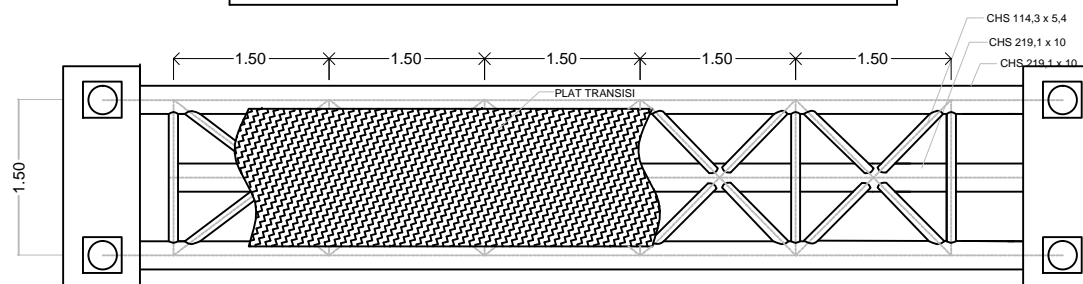
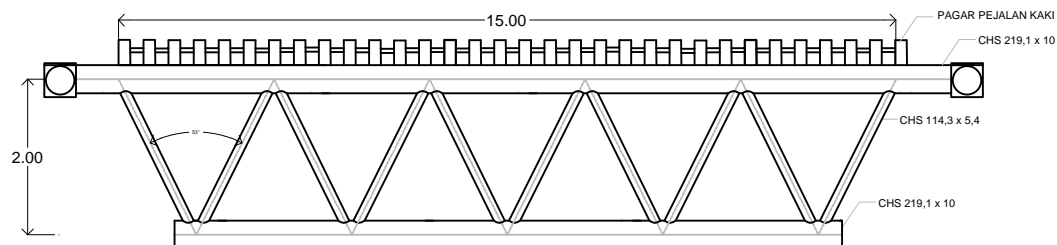
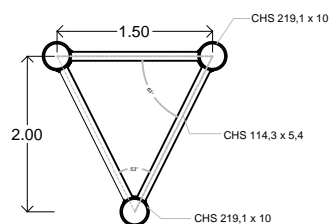
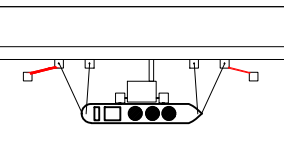
21

22

SKALA

1 : 100

CATATAN



STRUKTUR CATWALK 1
SKALA 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2016

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriyani W., M.Sc.
Prof. Dr. Ir. Herman W.

MAHASISWA

SATYA WIRA W
(3111 100 131)

NAMA GAMBAR

STRUKTUR CATWALK 2

NO. GAMBAR

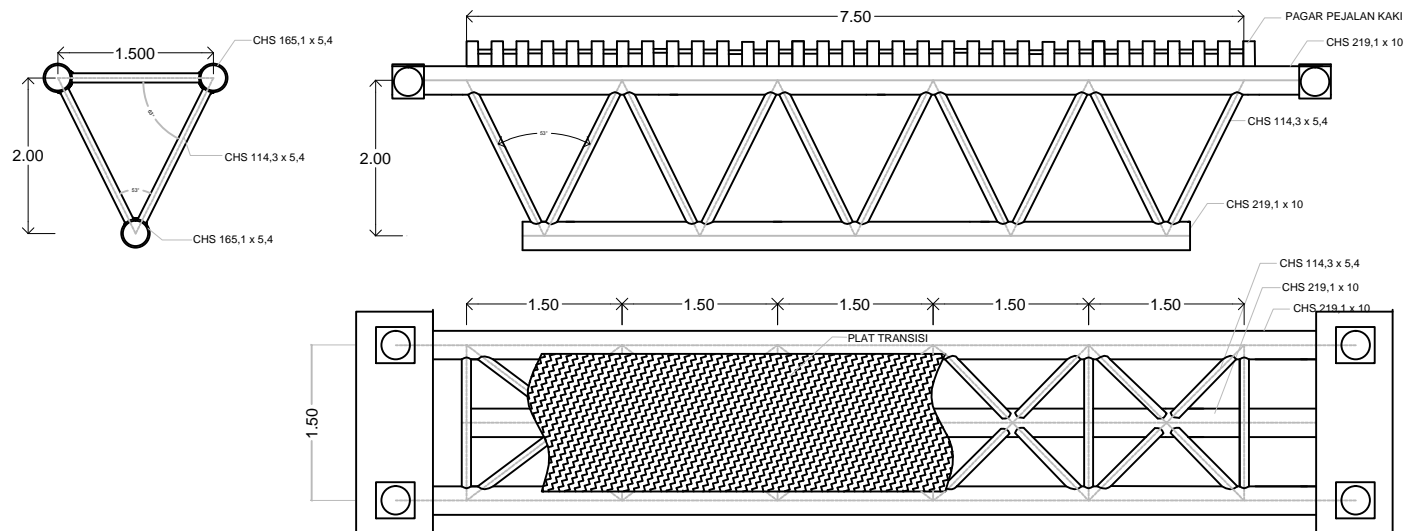
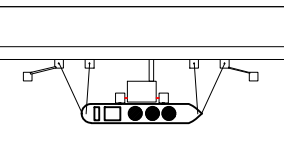
22


22

SKALA

1 : 100

CATATAN



 STRUKTUR CATWALK 2
SKALA 1:100

BAB VIII KESIMPULAN

Berdasarkan pada bab – bab yang telah dibahas sebelumnya diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kapal yang akan dilayani oleh dermaga TPPI yaitu kapal 12.000 DWT untuk mengangkut minyak IFO dan 11.000 DWT untuk mengangkut minyak MDO, adapun spesifikasi kapal sebagai berikut :

Kapal IFO 12.000 DWT:

- Loa (*Length Overall*) : 144 meter
- Lpp (*length between perpendiculars*) : 142,8 meter
- B (*Beam*) : 23 meter
- d (*Draft*) : 11,44 meter

Kapal IFO 11.000 DWT:

- Loa (*Length Overall*) : 142 meter
- Lpp (*length between perpendiculars*) : 141,2 meter
- B (*Beam*) : 22,1 meter
- d (*Draft*) : 10,9 meter

2. Dermaga direncanakan terdiri dari *Trestle, Mooring Dolphin, Loading Platform, Breasting Dolphin, Catwalk.*

3. *Trestle* direncanakan dengan konfigurasi sebagai berikut:

- Panjang : 27 m
- Lebar : 6,5 m
- Balok memanjang : 600 x 900 mm
- Balok melintang : 600 x 900 mm
- Tebal pelat lantai : 0,3 m
- Selimut beton : 8 cm
- Pile cap tunggal : 1,4 x 1,4 x 1 m
- Tiang pancang baja : Ø700 mm ; t = 14 mm
- Kemiringan tiang : 6:1

- Kedalaman tiang : -26,5 mLWS

4. *Mooring Dolphin* direncanakan dengan konfigurasi sebagai berikut:

- Dimensi struktur : 2,8 m x 2,8 m
- Selimut beton : 8 cm
- Tebal pile cap : 1 m
- Tiang pancang baja : Ø700 mm ; t = 14 mm
- Kemiringan tiang : 6 : 1
- Kedalaman tiang : - 29,3 mLWS
- Bollard : Double Hook Bollard Type MHC 040.402

5. *Loading Platfrom* direncanakan dengan konfigurasi sebagai berikut:

- Panjang : 24 m
- Lebar : 18 m
- Balok memanjang : 0,6 x 0,7 mm
- Balok melintang : 0,6 x 0,7 mm
- Tebal pelat lantai : 0,3 m
- Selimut beton : 8 cm
- Pile cap tunggal : 1,4 x 1,4 x 1 m
- Tiang pancang baja : Ø700 mm ; t = 14 mm
- Kemiringan tiang pancang : 6:1
- Kedalaman tiang pancang : - 29,3 mLWS

6. *Breasting Dolphin* direncanakan dengan konfigurasi sebagai berikut:

- Dimensi : 4,8 m x 4,8 m
- Selimut beton : 8 cm
- Tebal pile cap : 1,2 m
- Kemiringan : 6:1
- Tiang pancang baja : Ø700 mm ; t = 14 mm
- Kedalaman tiang tegak : - 30 mLWS
- Kedalaman tiang miring : -31,8 mLWS

- Fender : Tipe SCN 800 E2.3
- Panel fender : 1,5 m x 2 m

7. Direncanakan struktur catwalk dengan struktur rangka *Circular Hollow Section* (CHS) sebagai berikut :

- Panjang Catwalk 1 : 15 meter
- Panjang Catwalk 2 : 7,5 meter
- Lebar : 1,5 meter
- Jarak balok melintang : 1,5 meter
- Tinggi : 2 meter
- Dimensi balok utama (CHS) : 219,1 mm x 200 mm

8. Rencana anggaran biaya yang diperlukan dalam pembangunan “PERENCANAAN DETAIL DERMAGA SELATAN CURAH CAIR UNTUK KAPAL 12.000 DWT DI PERAIRAN UTARA KABUPATEN TUBAN, JAWA TIMUR” sebesar : Rp. 30.659.519.200

“Halaman sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI). 2002. **Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan**. Japan: Daikousha Printing Co., Ltd.

PIANC. 2002. **Guidelines for the Design of Fenders Systems**.

PIANC. 2014. **Harbour Approach Channels Design Guidelines**.

Thoresen, Carl A. 2003. **Port designer's handbook**. Thomas Telford. British

Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik Direktorat Jendral Cipta Karya. 1971. **Peraturan Beton Indonesia 1971**. Yayasan Lembaa Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung

Widyastuti, Dyah Iriani. 2000. **Diktat Pelabuhan**. Surabaya. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS.

Wahyudi, Herman. 2013. **Daya Dukung Pondasi Dalam**. Surabaya. ITS Press

Triatmodjo, Bambang. 2008. **Perencanaan Pelabuhan**. Yogyakarta: Beta Offset.

Standar Nasional Indonesia. 2012. **SNI-03 1726 2012 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung**. Bandung

SAP2000. 2009. **Structural Analysis Program**, version 14.1, Barkeley: Computer and Sturctures, Inc.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Satya Wira Wicaksana. Lahir di Yogyakarta pada tanggal 13 November 1993, merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan di SDN Klampis Ngasem I Surabaya, SMP Muhammadiyah 5 Surabaya, SMA Muhammadiyah 2 Surabaya, dan pada tahun 2011 masuk di Jurusan Teknik Sipil ITS. Di Jurusan Teknik Sipil ini, penulis mengambil judul Tugas Akhir di bidang Perhubungan/Transportasi (Pelabuhan), karena ketertarikannya

terhadap pelabuhan. Penulis aktif dalam bidang kemahasiswaan seperti Himpunan Mahasiswa Sipil sebagai kabiro dana dan usaha dan berbagai kegiatan yang diselenggarakan oleh internal kampus maupun eksternal kampus. Penulis dapat dihubungi melalui *email* satyawiraa@yahoo.com.